

## La biodiversità dei licheni epifiti nel monitoraggio di aree geotermiche

Giorgio Brunialti<sup>1\*</sup>, Luisa Frati<sup>1</sup>, Francesco Geri<sup>1</sup>, Graziana Grassini<sup>2</sup>

1 TerraData environmetrics, spin off accademico dell'Università di Siena, Via L. Bardelloni 9 – 58025 Monterotondo Marittimo (GR)

2 Centro di analisi CAIM, Via del Turismo 196 – 58022 Follonica (GR)

\* Referente per la corrispondenza: brunialti@terradata.it

### Riassunto

Sono presentati i risultati di due indagini di biomonitoraggio della qualità dell'aria tramite licheni epifiti effettuate nel comprensorio dei campi geotermici di Larderello e di Travale Radicondoli (Colline Metallifere, Toscana). In particolare, è stato rilevato l'Indice di Biodiversità Lichenica (IBL) in corrispondenza di 24 stazioni nel territorio di Sasso Pisano e in 22 stazioni nel territorio di Chiusdino-Radicondoli, per un totale di 159 alberi campionati. I dati sono stati elaborati mediante statistica di tipo descrittivo e modelli geostatistici. I valori di biodiversità lichenica sono compresi nelle classi da semi-alterazione a naturalità. Inoltre, lo studio ha permesso di evidenziare come le comunità licheniche del territorio indagato siano influenzate principalmente da fattori ambientali quali l'uso del suolo (agricolo, forestale) e la specie arborea (*Quercus cerris*, *Q. pubescens*) piuttosto che da fattori antropici legati allo sfruttamento geotermico.

PAROLE CHIAVE: bioindicazione / geotermia / licheni / naturalità-alterazione / uso del suolo

### Study of epiphytic lichens biodiversity for geothermal areas monitoring

The results of two biomonitoring surveys of air quality by means of epiphytic lichens in the area of the geothermal fields of Larderello and Travale Radicondoli (Metalliferous Hills, Tuscany, central Italy) are reported. In particular, the Index of Lichen Biodiversity (IBL) was detected for 24 stations in the surroundings of Sasso Pisano and for 22 stations in the area of Chiusdino-Radicondoli. Lichen diversity was investigated on a total of 159 trees. Data were processed using descriptive statistics and geostatistical models. The lichen biodiversity values ranged from semi-alteration to naturalness classes. In addition, the study has highlighted how the lichen communities of the investigated area were mainly influenced by environmental factors, such as land use (agricultural or forested landscapes) and tree species (*Quercus cerris*, *Q. pubescens*), rather than by anthropogenic factors related to geothermal power exploitation.

KEY WORDS: bioindication / geothermal power / lichens / naturalness-alteration / land use

### INTRODUZIONE

L'energia geotermoelettrica è un'importante fonte energetica particolarmente rappresentata in Toscana, dove copre il 25% del fabbisogno energetico regionale, corrispondente circa al 2% della produzione di energia elettrica nazionale (CAPETTI *et al.*, 2000; BERTANI, 2005).

Nonostante si tratti di una fonte energetica rinnovabile è importante valutarne l'eventuale impatto sull'ambiente mediante opportuni piani di monitoraggio nel lungo periodo. In particolare, bisogna considerare che i campi geotermici toscani insistono su territori

molto vasti (Larderello e Travale-Radicondoli: 400 km<sup>2</sup>; Amiata: 250 km<sup>2</sup>), per i quali un monitoraggio intensivo nello spazio e nel tempo, condotto mediante classici rilevamenti fisico-chimici, comporterebbe uno sforzo notevole in termini economici e di impegno lavorativo.

In questo senso, l'utilizzo di bioindicatori nel monitoraggio dell'inquinamento atmosferico presenta il grande vantaggio di consentire lo sviluppo di indagini pluriennali su territori ampi, senza il bisogno di allestire e mantenere in funzione strumentazioni sofisticate (BEEBY, 2001). Numerose indagini condotte nei campi geotermici della Toscana hanno evidenziato come lo studio della biodiversità dei licheni epifiti sia uno strumento affidabile nel monitoraggio dell'impatto dello sfruttamento geotermico sulla qualità dell'aria (LOPPI, 1996; LOPPI e BARGAGLI, 1996; LOPPI e NASCIMBENE, 1998; LOPPI *et al.*, 1998; LOPPI *et al.* 2002; LOPPI *et al.*, 2006). Le peculiarità fisiologiche ed ecologiche dei licheni, infatti, contribuiscono a rendere questi organismi degli ottimi biomonitori degli effetti dell'inquinamento atmosferico (NIMIS, 1999), tanto nel bioaccumulo (GARTY, 2001) quanto nella biodicazione (ANPA, 2001; ASTA *et al.*, 2002).

Questo lavoro riporta i risultati di due indagini di biomonitoraggio mediante licheni epifiti condotte nel 2009-2010 nel territorio dei campi geotermici di Larderello e di Travale Radicondoli (Colline Metallifere, Toscana). In particolare, le campagne sono state svolte per ottenere informazioni sullo stato attuale del comparto atmosferico riguardo all'eventuale impatto dello sfruttamento geotermico.

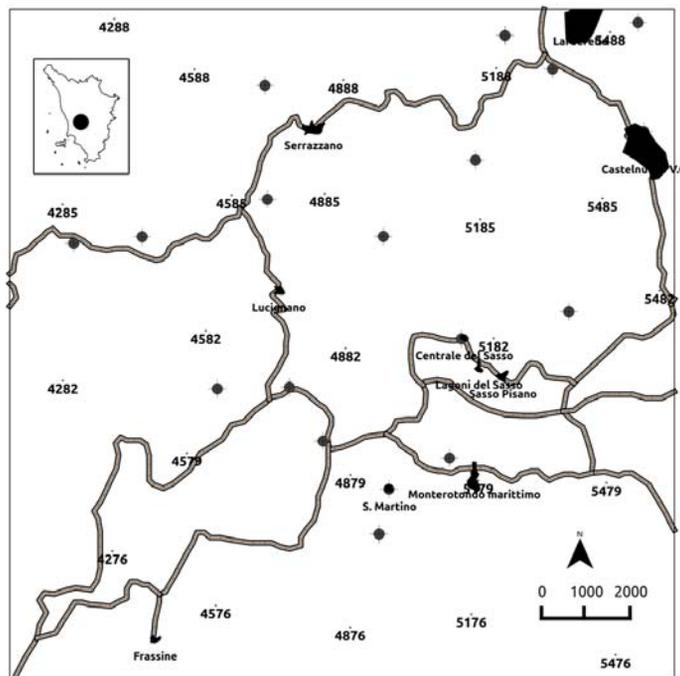
## MATERIALI E METODI

### Area di studio

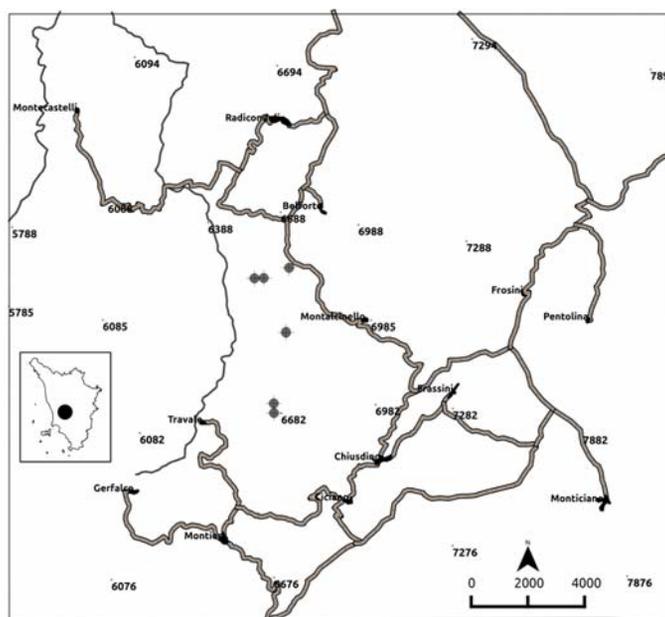
Lo studio è stato effettuato nell'ambito dei campi geotermici di Larderello e di Travale Radicondoli (province di Pisa, Siena e Grosseto). In quest'area sono distribuite 26 centrali geotermoelettriche con una potenza compresa tra 8 e 60 MW (in media 28 MW). Lo studio

ha previsto l'allestimento di due reti di rilevamento: una rete comprende il territorio circostante Sasso Pisano e ricopre un'estensione

di 256 Km<sup>2</sup> (16x16 km; Fig. 1), la seconda rete riguarda il territorio circostante Chiusdino e Radicondoli per un'estensione di 483 km<sup>2</sup>



**Fig. 1.** Sasso Pisano: area di studio con la distribuzione delle stazioni di bioindicazione (24 UCP: puntini numerati) e delle centrali geotermoelettriche (cerchi pieni) sul territorio.



**Fig. 2.** Chiusdino-Radicondoli: area di studio con la distribuzione delle stazioni di bioindicazione (22 UCP: puntini numerati) e delle centrali geotermoelettriche (cerchi pieni) sul territorio.

(21x23 km; Fig. 2).

Il paesaggio presenta una morfologia prevalentemente collinare con quote non superiori agli 800 metri, se si eccettuano le vette del Poggio di Montieri (1051 m) e delle Cornate di Gerfalco (1030 m). La geologia della zona è un mosaico complesso, composto in gran parte di arenarie dell'Eocene note come Macigno Toscano (LAZZAROTTO, 1967; 1993). Si tratta di un territorio estremamente ricco di risorse minerarie di vario tipo.

La vegetazione vascolare è caratterizzata da querceti mediterranei a prevalenza di leccio (*Quercus ilex* L.), cerro (*Q. cerris* L.) e rovere (*Quercus pubescens* Willd.). Quest'ultima è presente anche con esemplari isolati in mezzo ai campi coltivati.

La zona presenta un clima mediterraneo con una temperatura media annua di 13,3°C. Gennaio e luglio sono rispettivamente il mese più freddo e il più caldo (temperatura media rispettivamente di 5,4°C di e di 22,3°C). La piovosità media annuale è di 1107 mm: novembre è il mese più piovoso (media delle precipitazioni: 136 mm), mentre luglio è il mese più secco (media delle precipitazioni: 43 mm). La distribuzione delle precipitazioni è tipicamente mediterranea con una marcata siccità estiva e precipitazioni massime nel tardo autunno, con meno di 100 giorni piovosi all'anno (BARAZZUOLI, 1993).

### Disegno di campionamento

Le due indagini sono state condotte secondo un campionamento sistematico (ANPA, 2001), con l'individuazione di Unità di Campionamento Primarie (UCP) e Unità di Campionamento Secondarie (UCS).

La prima indagine è stata effettuata nel territorio circostante Sasso Pisano (Fig. 1; 24 UCP; 71

alberi; 284 rilievi di biodiversità lichenica), mentre la seconda è stata svolta nei dintorni di Chiusdino e Radicondoli (Fig. 2; 22 UCP; 88 alberi; 352 rilievi). Per ogni UCP sono stati selezionati da 2 a 8 alberi standard (ANPA, 2001), appartenenti alle specie *Q. pubescens* e *Q. cerris*.

Le aree forestali sono state considerate campionabili, escludendo però alberi in vegetazione boschiva chiusa, scegliendo invece quelli siti in radure, margini di formazioni forestali e margini di strade all'interno delle stesse.

Per ogni albero è stato rilevato l'Indice di Biodiversità Lichenica (IBL), ottenuto come la somma delle frequenze di ciascuna specie all'interno di un reticolo di rilevamento costituito da quattro sub-unità di 10x50 cm, ciascuna divisa in cinque quadrati di 10x10 cm. I quattro elementi della griglia sono stati posizionati verticalmente sul tronco in corrispondenza dei quattro punti cardinali principali (N, E, S, W) a 1 m dal suolo (ANPA, 2001).

Nomenclatura e caratteristiche ecologiche delle specie seguono NIMIS e MARTELOS (2008) e i nomi degli autori sono abbreviati secondo BRUMMITT e POWELL (1992).

I dati sono stati raccolti nel periodo aprile 2009-marzo 2010.

### Elaborazioni statistiche

**Analisi multivariata.** L'analisi Non-metric Multidimensional Scaling (NMS) (KRUSKAL, 1964; PCORD 4.0, MJM Software Design) è stata utilizzata come metodo di ordinamento per individuare la variabilità contenuta nell'insieme dei dati di bioindicazione.

A partire dal *dataset* originale sono state effettuate 40 'corse' iterative con dati reali, utilizzando Bray Curtis come misura di distan-

za. Successivamente sono state condotte 50 'corse' randomizzate (test Monte Carlo).

Una matrice di  $n$  alberi x  $n$  specie (frequenze) (Sasso Pisano: 71 alberi x 80 specie; Chiusdino-Radicondoli: 88 alberi x 93 specie) è stata messa in relazione con una matrice di 5 variabili ambientali (uso del suolo: agricolo, forestale; specie arborea: *Q. cerris*, *Q. pubescens*; circonferenza degli alberi in cm; numero di specie per albero; IBL per albero).

Le specie rare ( $p < 5\%$  degli alberi) non sono state considerate nell'analisi. I dati di frequenza delle specie sono stati relativizzati (general relativization, pc-Ord software). Le variabili quantitative della matrice secondaria (IBL, numero di specie e circonferenza) sono state trasformate mediante logaritmo.

**Modello geostatistico.** L'elaborazione cartografica dei valori IBL delle stazioni è stata condotta mediante il pacchetto di programmi SURFER 7 (Golden Software Inc., Golden, Colorado, USA), utilizzando l'*Inverse Distance Weighting* (IDW), come metodo di interpolazione. Il modello si basa su una funzione inversa rispetto alla distanza spaziale tra i punti (LONGLEY *et al.*, 2003). Successivamente, per ottenere una rappresentazione della diversità lichenica in termini di alterazione ambientale, ai valori di IBL interpolati sono state attribuite classi di naturalità/alterazione, che individuano diversi gradi di alterazione (Tab. I).

**Correlazione tra IBL e distanza dalle centrali.** Una funzione di *image processing* ha permesso di elaborare una mappa *raster* in cui ciascun pixel ha assunto il valore della distanza minima dalle *features* in oggetto, che nel nostro caso sono le centrali. Successiva-

mente, attraverso un *join* spaziale, è stato associato ad ogni stazione il valore di distanza corrispondente, che è stato utilizzato per studiare la correlazione con l'IBL.

## RISULTATI

Sono stati rilevati complessivamente 80 taxa lichenici nell'area di Sasso Pisano e 93 taxa nell'area di Chiusdino-Radicondoli. La lista

floristica risulta caratterizzata da una buona percentuale di specie da rare a estremamente rare (36% Sasso; 41% Chiusdino).

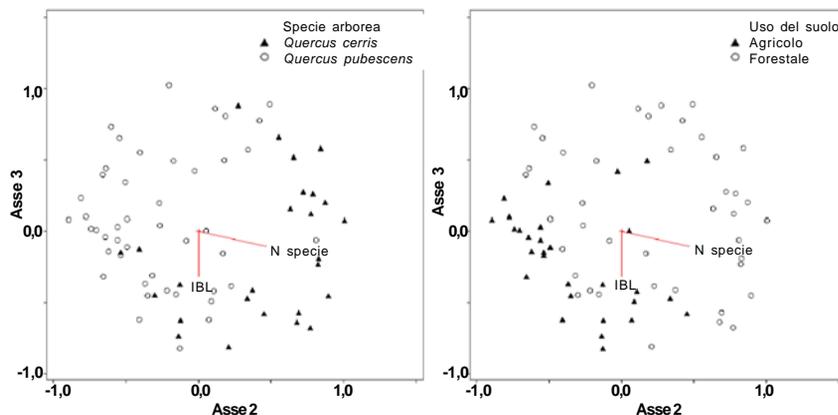
In tabella II si riportano le statistiche descrittive relative ai valori IBL rilevati ad ogni livello spaziale (rilievo, albero, UCP); in generale, sono stati registrati valori piuttosto elevati di biodiversità lichenica per entrambe le indagini. Tuttavia, i valori di Chiusdino-Radicondoli sono mediamente più alti rispetto a quelli di Sasso Pisano per tutti i livelli spaziali considerati. Non sono state rilevate differenze sostanziali tra le quattro esposizioni del tronco. A livello di albero il cerro mostra valori leggermente superiori rispetto alla roverella. A livello di UCP i valori IBL variano da 44,3 a 133 a Sasso Pisano ( $83 \pm 24$ ) e da 72,8 a 182,5 a Chiusdino-Radicondoli ( $112 \pm 27$ ).

### Analisi multivariata

Nelle figure 3 e 4 sono riportati gli ordinamenti relativi all'analisi multivariata non parametrica (NMS) condotta sulla base del dataset a livello di albero. Per Sasso Pisano (Fig. 3) la migliore soluzione corrisponde a una configurazione 3-dimensionale, con uno stress medio di 22,3 in 40 corse con dati

**Tab. I.** Scala di naturalità/alterazione basata sui valori di IBL valida per la regione bioclimatica sub-mediterranea umida (modificato da GIORDANI, 2004). Sono riportati i valori di deviazione % rispetto alla naturalità e le 5 classi di naturalità/alterazione.

Deviazione da condiz. naturali (%)	Valori di IBL	Classi di naturalità/alterazione
100	0	<b>1. Deserto lichenico</b>
76 - 100	0 - 40	<b>2. Alterazione</b>
51 - 75	40 - 80	<b>3. Semi-alterazione</b>
26 - 50	80 - 115	<b>4. Semi-naturalità</b>
≤ 25	> 115	<b>5. Naturalità</b>



**Fig. 3.** Ordine NMS degli alberi categorizzati sulla base della specie arborea (*Q. cerris*, *Q. pubescens*) e della classe di uso del suolo (agricolo, forestale) per la rete di Sasso Pisano. Sono visualizzati i due assi che contribuiscono maggiormente alla correlazione cumulativa (asse 2: 28,7%; asse 3: 20,6%).

**Tab. II.** Statistiche descrittive relative ai valori IBL rilevati ad ogni livello spaziale (rilievo, albero e UCP). Sono riportati anche i descrittori statistici relativi alle categorie di esposizione del reticolo (N, E, S, W) e di substrato arboreo (*Q. cerris* e *Q. pubescens*).

	Sasso Pisano				Chiusdino - Radicondoli			
	N	Media ± dev. st.	Mediana	Min-max	N	Media ± dev. st.	Mediana	Min-max
<b>Rilievo</b>	284	20,6 ± 9,2	20	4 - 60	352	28,1 ± 10,8	26,5	5 - 57
N	71	21,7 ± 10,0	22	6 - 52	88	27,5 ± 10,2	28	6 - 50
E	71	19,3 ± 9,6	20	4 - 42	88	28,2 ± 11,0	27	7 - 56
S	71	20,5 ± 8,0	20	5 - 51	88	28,3 ± 11,6	26,5	5 - 56
W	71	20,9 ± 9,2	20	5 - 60	88	25,5 ± 10,6	25,5	11 - 57
<b>Albero</b>	71	82,4 ± 31,4	77	21 - 194	88	112,4 ± 35,4	109,5	48 - 205
<i>Quercus cerris</i>	26	84,0 ± 36,5	85	35 - 194	54	118,3 ± 35,0	116	49 - 195
<i>Quercus pubescens</i>	45	81,5 ± 28,5	76	21 - 143	34	104,6 ± 34,5	95	48 - 205
UCP	24	82,5 ± 24,0	81,2	44,3 - 133	22	112,4 ± 27,3	109,5	72,8 - 182,5

reali. Tale risultato è statisticamente significativo se confrontato con 50 corse randomizzate di un test Monte Carlo (stress medio=26,2;  $p<0,05$ ). La correlazione cumulativa fra le distanze nell'ordinamento e le distanze nello spazio originale p-dimensionale dei 3 assi è risultata del 61,2%.

Per Chiusdino-Radicondoli (Fig. 4) la migliore soluzione corri-

sponde a una configurazione 3-dimensionale, con uno stress medio di 21,5 in 40 corse con dati reali. Tale risultato è statisticamente significativo se confrontato con 50 corse randomizzate di un test Monte Carlo (stress medio=27,4;  $p<0,05$ ). La correlazione cumulativa fra le distanze nell'ordinamento e le distanze nello spazio originale p-dimensionale dei 3 assi è risultata

del 71,5%.

Entrambi gli ordinamenti evidenziano una netta separazione tra i rilievi effettuati in corrispondenza delle due classi di uso del suolo e delle due specie arboree.

### Modelli geostatistici

Per entrambe le aree indagate, il modello mostra una situazione generalizzata di naturalità o al limite di bassa alterazione delle comunità licheniche, che fa ipotizzare l'assenza di pressioni antropiche particolarmente limitanti per la diversità lichenica. Nel caso di Sasso Pisano (Fig. 5) si individua un'ampia zona compresa nelle classi di semi-naturalità ( $80<IBL<115$ ) e di naturalità ( $IBL>115$ ), che si estende alla porzione centro meridionale dell'area di studio e comprende gli abitati di Canneto, Lustignano e Sasso Pisano. La parte settentrionale dell'area rientra nella classe di bassa alterazione ( $60<IBL<80$ ). Nel caso di Chiusdino-Radicondoli (Fig. 6), la maggior parte del territorio risulta compresa nella classe di naturalità ( $IBL>115$ ) che include gli abitati di Gerfalco, Travale, Cicciano e Chiusdino. Il resto dell'area rientra nella classe di semi-naturalità ( $80<IBL<115$ ).

### Correlazione tra IBL e distanza dalle centrali

Il grafico di figura 7 riporta la relazione tra i valori di IBL di ciascuna stazione e la distanza dalle centrali geotermoelettriche. La correlazione è molto bassa con un valore di  $r^2=0,072$ .

### DISCUSSIONE

I risultati mostrano una flora lichenica molto ricca di specie, che denota una buona biodiversità complessiva dei territori studiati. Nell'interpretazione di questi risultati bisogna tenere presenti alcuni fattori principali: i) la sostanziale ete-

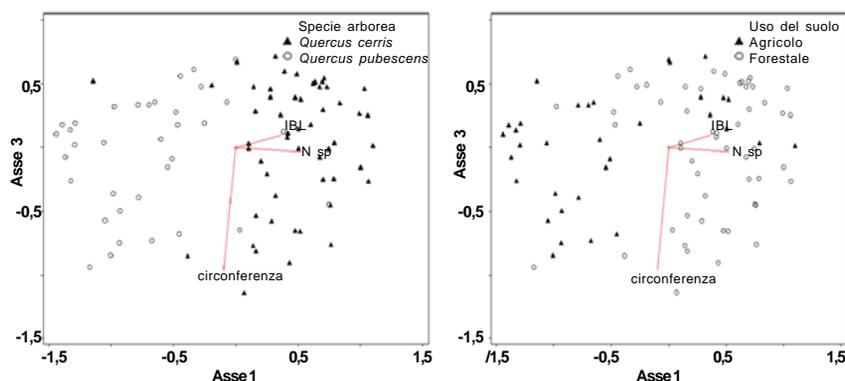


Fig. 4. Ordinamento NMS degli alberi categorizzati sulla base della specie arborea (*Q. cerris*, *Q. pubescens*) e della classe di uso del suolo (agricolo, forestale) per la rete di Chiusdino-Radicondoli. Sono visualizzati i due assi che contribuiscono maggiormente alla correlazione cumulativa (asse 1: 39,1%; asse 2: 14,8%).

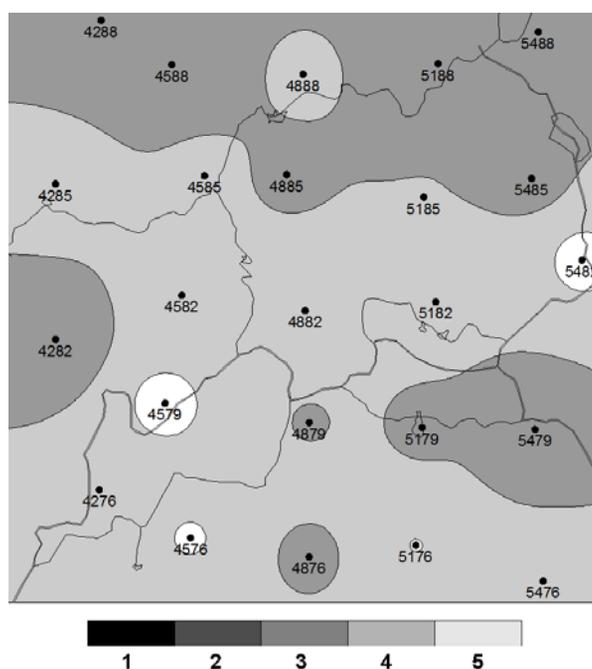
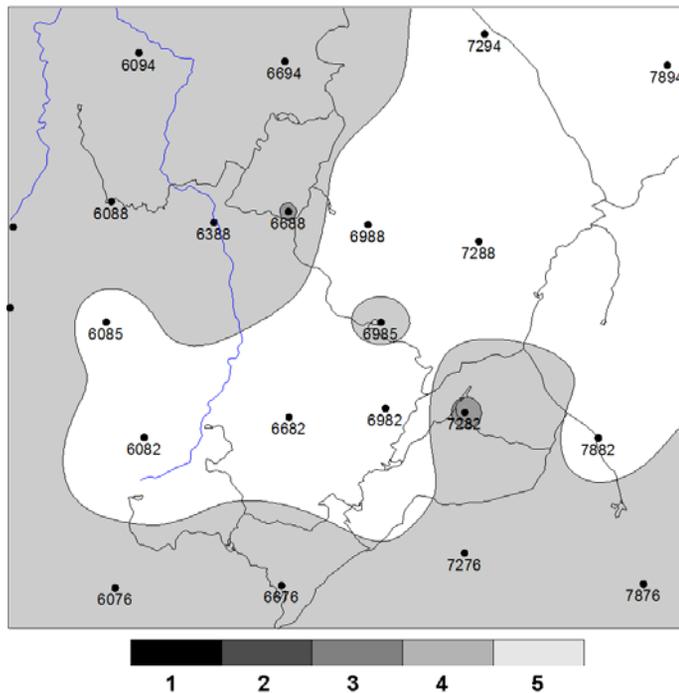


Fig. 5. Sasso Pisano: mappa interpolata (IDW) dei valori IBL categorizzati sulla base della scala di naturalità/alterazione di 5 classi.



**Fig. 6.** Chiusdino: mappa interpolata (IDW) dei valori IBL categorizzati sulla base della scala di naturalità/alterazione di 5 classi.

roogeneità geomorfologica del territorio, che risulta in parte a vocazione agricola e con una ampia distribuzione di pascoli e in parte forestale; ii) la ricchezza di habitat naturali; iii) lo scarso impatto antropico su tutto il territorio. Infatti, se si eccettua l'impatto dello sfruttamento geotermico, l'area risulta caratterizzata dall'assenza di inquinamento dovuto al traffico veicolare e di centri abitati ad elevata densità di popolazione.

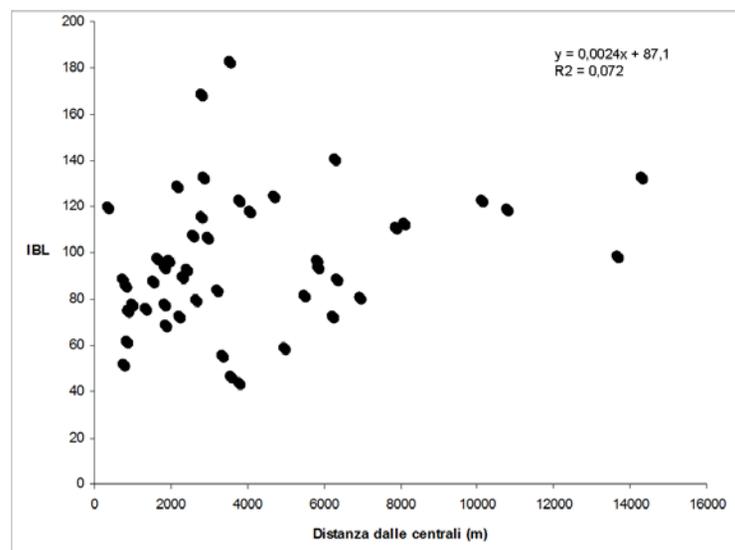
Mediante i valori IBL rilevati a livello di UCP e di albero rientrano nelle classi di semi-naturalità ( $80 < \text{IBL} < 115$ ) e di naturalità ( $\text{IBL} > 115$ ). Le quattro esposizioni del tronco non fanno rilevare differenze sostanziali. Questo andamento rispecchia quanto evidenziato nell'ambito di studi condotti sia in altre aree tirreniche (BRUNIALTI e GIORDANI, 2003; GIORDANI, 2006, 2007) sia in aree adriatiche (FRATI e BRUNIALTI, 2006; CASTELLO e SKERT, 2005), in cui si

osserva una copertura uniforme del tronco senza un'esposizione colonizzata preferenzialmente. È possibile giustificare questi risultati sulla base del fatto che difficilmente in aree tirreniche l'umi-

dità atmosferica può costituire un fattore limitante per le comunità licheniche epifite. Al contrario, in aree dal clima continentale, come la Pianura Padana, questo parametro ambientale può costituire un fattore limitante per le specie licheniche, portando ad una colonizzazione preferenziale su esposizioni maggiormente umide e ombreggiate (BRUNIALTI *et al.*, 2007).

Un discorso simile può essere fatto per quanto riguarda le statistiche descrittive relative ai valori IBL rilevati sulle due specie di *Quercus*, che confermano l'assenza di un'influenza significativa del substrato arboreo sui valori di diversità lichenica.

Per entrambe le indagini, l'analisi multivariata separa le stazioni agricole dalle forestali e le due specie arboree rilevate (cerro e roverella). Il gradiente crescente di ricchezza specifica e di IBL è in relazione alla presenza di specie appartenenti alla comunità del *Parmelion* che, nel territorio indagato, colonizzano prevalentemente i cerri (*Flavoparmelia caperata*, *Parmelia sulcata*, *Parmelina tiliacea* e *Parmo-*



**Fig. 7.** valori di IBL di ciascuna stazione in relazione alla distanza dalle centrali geotermoelettriche.

*trema perlatum*) rilevati in corrispondenza delle aree forestali. Si tratta di specie sensibili agli inquinanti e all'eccessiva eutrofizzazione dei substrati che, per le loro esigenze ecologiche, trovano nei cerri situati in aree forestali l'*optimum* per svilupparsi. Al contrario, specie caratteristiche dello *Xanthorion* sono significativamente associate alle roverelle delle aree agricole (*Hyperphyscia adglutinata*, *Physcia adscendens*, *P. biziana* var. *biziana*, *Physconia distorta*, *P. grisea* e *Xanthoria parietina*).

L'incremento del numero di specie in relazione alle aree forestali e al cerro è da attribuire principalmente alle condizioni ecologiche più opportune per lo sviluppo di comunità licheniche mature rispetto agli alberi isolati in mezzo ai campi. Questi ultimi infatti tendono ad ospitare comunità caratterizzate da specie comuni e piuttosto tolleranti nei confronti di fattori ambientali come l'eccessiva illuminazione, l'apporto di polveri e i bassi valori di umidità atmosferica.

## CONCLUSIONI

Questo lavoro ha permesso di ottenere un quadro conoscitivo dello stato attuale della biodiversità lichenica in alcune aree geotermiche. I rilievi di diversità lichenica hanno permesso di individuare una flora molto ricca di specie (80 taxa a Sasso Pisano; 93 taxa a Chiusdino-Radicondoli), che denota una buona biodiversità complessiva dell'area di studio.

Si può concludere che le comunità licheniche osservate risultano soprattutto influenzate dai seguenti fattori ambientali:

- fattori legati al differente substrato arboreo (cerro o roverella) e quindi in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche della scorza (rugosità, ritenzione idrica);
- fattori legati alla categoria di uso del suolo in cui si sviluppano gli esemplari di *Quercus* campionati. I principali fattori ecologici coinvolti in questo contesto sono la disponibilità di luce e di umidità, che differiscono notevolmente tra albe-

ri isolati in mezzo ai campi e alberi al margine di formazioni boschive.

I risultati dell'analisi multivariata evidenziano come questi fattori ambientali influiscano principalmente sulle comunità licheniche piuttosto che sulla biodiversità. In particolare, le comunità licheniche presenti sugli alberi indagati sono principalmente legate all'influenza del substrato arboreo o dell'uso del suolo, con un incremento di biodiversità in relazione agli esemplari di cerro diffusi nelle aree forestali. La presenza di centrali geotermoelettriche non sembra influire sulla biodiversità lichenica dell'area di studio che risulta perciò caratterizzata dall'assenza di particolari pattern di impatto antropico.

## Ringraziamenti

Le indagini sono state finanziate da Enel Green Power. Desideriamo ringraziare il personale ENEL che ha collaborato a questo lavoro e in particolare il Dr. Bruno Tarquini e l'Ing. Alessandro Lenzi.

## BIBLIOGRAFIA

- ANPA, 2001. *I.B.L. Indice di biodiversità lichenica*. ANPA Manuali e Linee guida 2/2001:185 pp.
- ASTA J., ERHARDT W., FERRETTI M., FERNASIER F., KIRSCHBAUM U., NIMIS P.L., PURVISW., PIRINTOS S., SCHEIDEGGER C., VAN HALUWYN C., WIRTH V., 2002. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. In: Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P. (eds.). *Monitoring with Lichens-Monitoring Lichens*. Kluwer, Dordrecht: 273-281.
- BARAZZUOLI P., 1993. Il Clima. In: Giusti F. (ed.). *La storia naturale della Toscana meridionale*. Amilcare Pizzi Editore, Milano: 141-171.
- BEEBY A., 2001. What do sentinels stand for? *Environmental Pollution*, **112**: 285-298.
- BERTANI R., 2005. L'energia geotermica. *Analysis*, **3**:1-12.
- BRUMMIT B.K., POWELL C.E. (eds.), 1992. *Authors of plant Names*. Royal Botanic Gardens, Kew, 732 pp.
- BRUNIALTI G., GIORDANI P., 2003. Variability of lichen diversity in a climatically heterogeneous area (Liguria, NW Italy). *Lichenologist*, **35**: 55-69.
- BRUNIALTI G., VALLONE E., PAIANO N., FRATI L., CALDERISI M., MACCHERINI S., ROCCHINI D., BACARO G., FERRETTI M., ISOCRONO D., 2007. Quale approccio metodologico per l'elaborazione dei dati di biomonitoraggio mediante licheni epifiti ottenuti dall'applicazione del protocollo ANPA? *Notiziario della Società Lichenologica Italiana*, **20**: 25.
- CAPETTI G., PASSALEVA G., SABATELLI F., 2000. Italy country update report 1995-1999. In: Iglesias E., Blackwell D., Hunt T., Lund J., Tamanyu S., Kimbara K., (eds.), *Proceedings of the world geothermal congress 2000*, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2000, pp. 109-116.
- CASTELLO M., SKERT N., 2005. Evaluation of lichen diversity as an indicator of environmental quality in the North Adriatic submediterranean region. *The Science of the Total Environment*, **336**: 201-214.
- FRATI L., BRUNIALTI G., 2006. Long-term biomonitoring with lichens: comparing data from different sampling procedures. *Environmental Monitoring and Assessment*, **119**: 391-404.

- GARTY J., 2001. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. *Critical Reviews in Plant Science*, **20**: 309-71.
- GIORDANI P., 2004. *Licheni epifiti come biomonitors dell'alterazione ambientale. Influenza delle variabili ecologiche sulla diversità lichenica*. Università degli Studi di Trieste, Tesi di dottorato.
- GIORDANI P., 2006. Variables influencing the distribution of epiphytic lichens in heterogeneous areas: a case-study for Liguria (NW-Italy). *Journal of Vegetation Science*, **17**: 195-207.
- GIORDANI P., 2007. Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution? A case study from Italy. *Environmental Pollution*, **146**: 317-323.
- KRUSKAL J.B., 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. *Psychometrika*, **29**: 115-129.
- LAZZAROTTO A., 1967. Geologia della zona compresa tra l'alta valle del fiume Cornia ed il Torrente Pavone (Prov. di Pisa e Grosseto). *Memorie della Società Geologica Italiana*, **6**: 151-197.
- LAZZAROTTO A., 1993. Elementi di Geologia. In: Giusti F. (ed.), *La Storia Naturale della Toscana Meridionale*. Amilcare Pizzi Editore, Milano: pp. 19-87.
- LONGLEY P.A., GOODCHILD M.F., MAGUIRE D.J., RHIND D.W., 2003. *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto, 517 pp.
- LOPPI S., FRATI L., BENEDETTINI G., PIRINTOS S.A., LEONZIO C., 2002. Geothermal energy and air pollution at Larderello (Tuscany, central Italy): biodiversity of epiphytic lichens as indicator. *Israel Journal of Plant Science*, **50**: 119-126.
- LOPPI S., PAOLI L., GAGGI C., 2006. Diversity of epiphytic lichens and Hg contents of *Xanthoria parietina* thalli as monitors of geothermal air pollution in the Mt. Amiata Area (central Italy). *Journal of Atmospheric Chemistry*, **53**: 93-105.
- LOPPI S., 1996. Lichens as bioindicators of geothermal air pollution in central Italy. *Bryologist*, **99**: 41-48.
- LOPPI S., BARGAGLI, R., 1996. Lichen biomonitoring of trace elements in a geothermal area (central Italy). *Water Air and Soil Pollution*, **88**: 177-187.
- LOPPI S., CENNI E., BUSSOTTI F., FERRETTI M., 1998. Biomonitoring of geothermal air pollution by epiphytic lichens and forest trees. *Chemosphere*, **36**: 1079-1082.
- LOPPI S., NASCIMBENE J., 1998. Lichen bioindication of air quality in the Mt Amiata geothermal area (Tuscany, Italy). *Geothermics*, **27**: 295-304.
- NIMIS P.L., 1999. 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, Roma, serie Atti 2: 267-278.
- NIMIS P.L., MARTELLOS S., 2008. ITALIC - The Information System on Italian Lichens. Version 4.0. University of Trieste, Dept. of Biology, IN4.0/1 (<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>).