

Indagine sulla qualità dell'aria mediante licheni epifiti nella zona industriale di Terni

Romina Ciotti, Rita Guerrini, Olga Moretti, Camilla Natali, Chiara Piersanti

L'Agenzia di protezione ambientale dell'Umbria, ospitando un progetto di ricerca finanziato dalla Comunità Europea della durata di 18 mesi, ha effettuato uno studio per la valutazione della qualità dell'aria sfruttando i licheni epifiti come bioindicatori

I licheni sono organismi vegetali risultanti dalla simbiosi fra un fungo (in genere Ascomiceti, eterotrofi) e un'alga (alghe verdi o cianobatteri, autotrofi) (ANPA Manuali e Linee Guide 2/2001). Le alghe e i funghi si organizzano in modo tale da formare uno strato centrale, generalmente costituito da alghe, uno strato superiore e uno inferiore, rappresentati dai funghi. Questi ultimi strati vanno a costituire il cortex superiore e inferiore. Il cortex superiore è quello più esposto all'ambiente e porta le strutture deputate alla riproduzione, come gli isidi, gli apoteci e i sorredi; il cortex inferiore, presente soprattutto nelle specie foliose, è deputato all'ancoraggio del lichene al substrato attraverso le cosiddette rizine, estroflessioni del tallo simili a radici. Nella Fig.1 è riportata la sezione di un lichene vista al microscopio ottico e fotografata, in cui sono visibili sia le porzioni algali che fungine. Le principali forme di crescita dei licheni individuabili su base morfologica sono: crostosi (in cui il tallo è completamente aderente al substrato e privo di cortex), foliosi (in cui il tallo forma lobi più o meno ampi con un cortex superiore e uno inferiore) e fruticosi (in cui il tallo si sviluppa in modo tridimensionale mediante ramificazioni chiamate lacinie) (Fig. 2) (ANPA Manuali e Linee Guide 2/2001). Dal punto di vista ecologico i licheni rappresentano un gruppo di organismi capaci di sopravvivere in ambienti diversi a temperature comprese tra -20°C e $+70^{\circ}\text{C}$; sono ubiquitari e possono svilupparsi su qualsiasi tipo di substrato, come rocce, alberi, terreno e superfici di materiali particolari come cemento, tegole o asfalto (ANPA Manuali e Linee Guide 2/2001). La resistenza dei licheni alle temperature più proibitive è legata alla loro capacità di disidratazione del tallo; in questo modo essi entrano in uno stato di vita latente (riviviscenza) che gli permette di sopravvivere a condizioni di stress. Essi possono quindi restare in un periodo di quiescenza molto lungo fino all'instaurarsi di nuove condizioni favorevoli alla ripresa delle attività metaboliche. La rapidità con cui riescono a disidratarsi è favorita dalla mancanza della cuticola superficiale che negli organismi superiori, come le

piante, ha proprio la funzione di mantenere il bilancio idrico. La mancanza di cuticola, l'assorbimento delle sostanze direttamente dall'atmosfera, il lento tasso di accrescimento e la capacità di metabolizzare anche a basse temperature rendono i licheni ottimi bioindicatori della qualità dell'aria (ANPA Manuali e Linee Guide 2/2001; ARPA Sezione di Rimini, 2003; Miani, Skert, Grahonja, Mariuz, 2006). Un bioindicatore è un organismo che presenta variazioni morfologiche e fisiologiche in corrispondenza dell'intensità del disturbo ambientale a cui è sottoposto. Nel

Le aree studiate sono tre: Maratta Bassa, Cesi, Massa Martana, e sono state scelte sulla base del Modello Previsionale delle Emissioni predisposto da Arpa

caso dei licheni tale disturbo è rappresentato dal tasso di inquinamento presente nell'aria (Loppi, Frati, 2003; ARPA FVG, 2006). Il livello di inquinamento ha vari effetti sui licheni, come, ad esempio, lo scolorimento del tallo, la diminuzione della larghezza degli apoteci, la diminuzione della copertura del substrato e la riduzione del numero totale delle specie nello spazio (ANPA Manuali e Linee Guide 2/2001; Anderi, Baldi, Bortolas, 2005). La considerazione di tutti questi effetti ha permesso di stimare in modo qualitativo la qualità dell'aria in particolari zone della città di Terni selezionate, come già detto, sulla base del "Modello Previsionale delle Emissioni" Arpa.

Le aree di studio sono:

- **Via Vanzetti, Maratta Bassa**, prima periferia di Terni. Essa rappresenta la zona a massima ricaduta in quanto si trova nelle vicinanze dei tre termovalorizzatori. È caratterizzata da una forte presenza di attività antropiche di diversa natura.
- Cortile antistante la scuola primaria di **Cesi**, paese a circa 10 chilometri da Terni contradd-

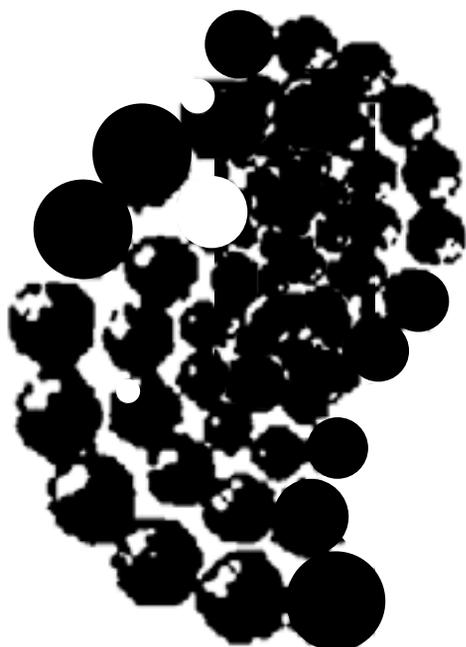




Figura 1 - Sezione verticale di un lichene folioso (Parmelia) in cui sono visibile la porzione algale e quella ifale

Figura 2 - Morfologie di licheni: crostosi, foliosi, fruticosi



distinto da un paesaggio collinare a ridosso delle montagne e abbastanza lontano da fonti inquinanti come i termovalorizzatori stessi, ferrovie e attività industriali. Pertanto Cesi è stata scelta come la zona a minima ricaduta.

- **Massa Martana**, a circa 30 Km da Terni, rappresentata da una zona boschiva con ampia biodiversità e lontana dalle fonti inquinanti. Per tale motivo è stata definita come zona di controllo o bianco.

MATERIALI E METODI

Lo studio della qualità dell'aria nelle zone sopra citate è stato effettuato applicando le regole dettate dal "Manuale ANPA 2001". In tal modo si è operata la scelta dei forofiti su cui elaborare l'Indice di Biodiversità Lichenica (I.B.L.), delle UCP (Unità Campionarie Primarie, porzioni di terreno quadrate, 1x1 Km) e delle UCS (Unità di Campionarie Secondarie, porzioni di terreno circolari, Ø 250m). Di particolare importanza per lo studio affrontato è stato il lavoro di base svolto dall'Università "La Sapienza" di Roma in collaborazione con Arpa Umbria (2003) che ha costruito la Rete permanente di biomonitoraggio della regione Umbria inserita in quella nazionale elaborata dall'Anpa. Come risultato, la rete umbra consiste di 25 UCP, di cui 20 comprese nella provincia di Perugia e 5 in quella di Terni (Fig.3). Le UCP considerate sono state due: UCP n.3 – Santa Lucia, Terni (che comprende la zona a massima ricaduta di Maratta Bassa e la zona a minima ricaduta di Cesi) – e la UCP n.9 – Marsciano, Perugia che comprende la zona di controllo di Massa Martana. Nell'ambito di tali UCP è stata costruita una sottorete a maglie più piccole all'interno delle quali sono stati individuati i forofiti oggetto di studio. I campionamenti sono stati effettuati nell'anno 2007-2008, per un totale di 18 mesi. Per il calcolo dell'I.B.L. è stato utilizzato il reticolo posizionato a 1 metro da terra in corrispondenza dei quattro punti cardinali (Fig.4). Il reticolo è costituito da quattro subunità distinte formate da 5 quadranti (10x10 cm) all'interno dei quali sono state identificate e contate tutte le specie licheniche presenti. È importante ricordare che per ogni specie rilevata viene considerata la frequenza e non il numero di individui appartenenti ad essa. La somma degli I.B.L. relativi ai punti cardinali di ogni albero, e la somma degli I.B.L. di tutti i forofiti

Valore	Classe di naturalità/alterazione	Colore
>186	1 Naturalità molto alta	Blu scuro
156-186	2 Naturalità alta	Blu chiaro
126-155	3 Naturalità media	Verde scuro
94-124	4 Naturalità bassa/Alterazione bassa	Verde chiaro
63-93	5 Alterazione media	Giallo
32-62	6 Alterazione alta	Arancione
0-31	7 Alterazione molto alta	Rosso

Tabella 1 - Scala di naturalità per l'interpretazione dei valori di I.B.L.



Fig. 4 - Esempio di posizionamento del reticolo per il calcolo dell'I.B.L.



Figura 3 - UCP Umbria - Università "La Sapienza" Roma

esaminati, fornisce l'indice I.B.L. del sito. Poiché non è stato sempre possibile effettuare il riconoscimento delle specie licheniche in campo, alcune volte è stato necessario identificarle in laboratorio con l'ausilio delle chiavi dicotomiche (Nimis-Tretiach e ANPA, 2001), dello stereomicroscopio e del microscopio ottico (Whirt, 1995). La Tab.1 riporta la scala di naturalità a cui ci si riferisce per interpretare i valori di I.B.L. ottenuti.

RISULTATI

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti in ognuna delle aree oggetto dello studio:

Maratta Bassa

La zona di Maratta Bassa è un'area soggetta a diverse fonti inquinanti, come l'elevato traffico veicolare, le attività industriali, e, soprattutto, la presenza dei tre termovalorizzatori ASM, Terni En.A. e PRINTER (l'impianto ASM ha sospeso le sue attività dal gennaio 2008). Inizialmente per lo studio di questa prima zona si era optato per la scelta di forofiti appartenenti alla specie *Tilia platyphillos*, Famiglia *Tiliaceae*; successivamente però sono stati sostituiti con *Quercus ilex*, Famiglia *Fagaceae* perché numericamente insufficienti e inadatti al rilievo a causa della presenza di importanti danni presenti sul fusto (vernici, escoriazioni, presenza di aree decorticate). *Quercus ilex* è una specie arborea non del tutto compatibile con quelle scelte nelle altre due zone di studio (*Tilia platyphillos* a Cesi, zona di minima ricaduta – *Quercus pubescens* a Massa Martana, controllo) e non elettiva per lo studio dei licheni, soprattutto per la sua corteccia che con il passare del tempo si divide in piccole scaglie poligonali nerastre rendendo il tronco strutturalmente non omogeneo. Nel caso di questo progetto, però, la scelta è stata obbligata a causa della circoscritta zona da esaminare. I forofiti scelti, comunque, sono tre (numero minimo sufficiente per poter portare avanti lo studio) e presentano le caratteristiche indispensabili a renderli adatti all'esame. Una iniziale analisi visiva basata sull'osservazione dei licheni ha permesso di dare un primo e generale giudizio circa le condizioni ambientali della zona. Attraverso l'osservazione della morfologia, del colore, del grado di copertura del substrato e della grandezza del tallo lichenico è possibile, infatti, comprendere gli effetti degli inquinanti su tali organismi. In particolare, gli alberi esaminati presentano un numero esiguo di specie: talli di piccole dimensioni e fragili al tatto, e scolorimento a causa della forte antropizzazione della zona. Gli apoteci, cioè le strutture deputate alla riproduzione sessuata, sono pochi e piccoli. Come è possibile evidenziare

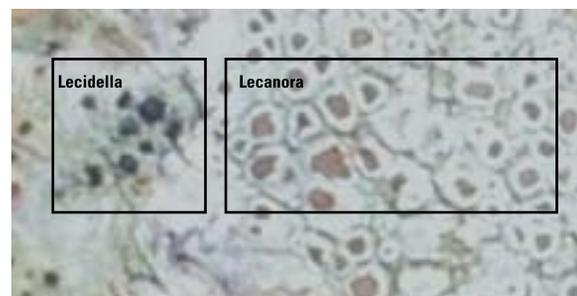


Figura 5 - Licheni crostosi, generi *Lecanora* e *Lecidella*

nella tabella 2, la metà dei licheni osservati appartiene a specie crostose (genere *Lecidella* e *Lecanora*, figura 5), cioè a organismi che, grazie alle loro ridotte dimensioni, offrono una minore superficie di scambio che li rende più resistenti all'attacco degli agenti tossici e inquinanti (Nimis, 1991). I licheni appartenenti a specie foliose e fruticose, invece, sono più sensibili agli effetti degli agenti inquinanti a causa delle loro dimensioni più sviluppate che permettono maggiori rapporti di scambio con l'ambiente. Inoltre, in ognuno degli alberi in corrispondenza di almeno un punto cardinale è massima la frequenza di *Xanthoria parietina*, lichene folioso ampiamente diffuso in ambienti fortemente antropizzati per la sua maggiore resistenza a condizioni di stress di varia origine (ARPAV, 2004). Il valore I.B.L della Stazione n.1 è pari a 68; l'area esaminata rientra quindi nella "Classe di naturalità/altezzazione" gialla, cioè quella corrispondente ad una "Altezzazione media".

Cesi

Il paese di Cesi si trova a 10 Km da Terni ad un'altezza di circa 400 metri sul livello del mare, abbastanza lontano da fonti inquinanti e classificato dal "Modello Previsionale" come zona a "minima ricaduta". I forofiti scelti per l'ana-

Un bioindicatore è un organismo che presenta variazioni morfologiche e fisiologiche in corrispondenza dell'intensità del disturbo ambientale a cui è sottoposto

lisi dei licheni appartengono al genere *Tilia*, Famiglia *Tiliaceae* e sono collocati all'interno del cortile della scuola elementare del paese; sono in numero di tre e presentano tutti i requisiti che li rendono adatti allo studio. Essi sono caratterizzati da tronchi diritti e slanciati, rami robusti e

Area	Specie licheniche rilevate	I.B.L.		Classe naturalità/alterazione
Maratta bassa (<i>Quercus ilex</i>)	Crostosi: Candelaria concolor, Lecanora, Lecidella elaeochroma Foliosi: Hyperphyscia adglutinata, Physcia adscendens, Xanthoria parietina	I.B.L. primo forofita	53	Alterazione media
		I.B.L. secondo forofita	73	
		I.B.L. terzo forofita	76	
		I.B.L. Stazione n. 1	68	
Cesi (<i>Tilia platyphyllos</i>)	Crostosi: Candelaria concolor, Lecanora, Lecidella elaeochroma Foliosi: Hyperphyscia adglutinata, Parmelia borrieri, Parmelia caperata, Parmelia tiliacea, Phaeophyscia chloantha, Physcia adscendens, Physcia aipolia, Xanthoria parietina	I.B.L. primo forofita	101	Naturalità bassa/Alterazione bassa
		I.B.L. secondo forofita	99	
		I.B.L. terzo forofita	86	
		I.B.L. Stazione n. 2	95	
Massa Martana (<i>Quercus pubescens</i>)	Crostosi: Caloplaca, Lecanora, Lecidella Elaeochroma, Phlyctis, Pertusaria Foliosi: Anaptychia ciliaris, Hyperphyscia adglutinata, Parmelia acetabulum, Parmelia quercina, Parmelia soredians, Parmelia tiliacea, Physcia adscendens, Physcia biziana, Physcia leptalea, Physcia tenella, Physconia distorta, Xanthoria parietina	I.B.L. primo forofita	120	Naturalità bassa/Alterazione bassa
		I.B.L. secondo forofita	103	
		I.B.L. terzo forofita	119	
		I.B.L. Stazione n. 3	114	

Tabella 2 - Valori di I.B.L. con corrispondenti "Classi di naturalità/alterazione" relative alle area esaminate

chioma densa, fitta e ampia a formare una cupola. L'osservazione delle specie ha rilevato talli grandi, vivacemente colorati, con le strutture deputate alla riproduzione sessuata e asessuata (apotecii, soredi e isidi) ben evidenti anche ad occhio nudo; segno evidente che queste specie licheniche si trovano in un ambiente più libero da sostanze tossiche rispetto a quelle di Maratta Bassa. Dalla tabella 2 è possibile evidenziare la presenza di molte più specie licheniche foliose rispetto al sito di Maratta Bassa. Infatti in tutti e tre i forofiti sono rilevabili licheni appartenenti al genere *Parmelia* (come *P. borrieri*, *P. caperata* e *P. tiliacea*), *Phaeophyscia* e *Physcia* che nella Stazione 1 non erano affatto presenti. A testimonianza delle condizioni migliori in cui si trovano tali forofiti c'è la presenza del lichene folioso *Parmelia caperata* (*Flavoparmelia caperata*) (ARPAV, 2004). Tale lichene tipico delle zone temperate con microclima né particolarmente umido né particolarmente secco, è molto sensibile ai fenomeni di inquinamento e quindi la sua presenza, anche se minima rispetto alla flora lichenica totale, fa pensare a una diminuzione della concentrazione degli inquinanti a Cesi. Il calcolo dell'I.B.L. ha dato il risultato pari a circa 95, che equivale allo stato di Naturalità/Alterazione "verde chiaro", cioè "Naturalità Bassa/Alterazione Bassa".

Massa Martana

Massa Martana rappresenta il sito di controllo e come tale è caratterizzato da un ambiente privo, almeno nelle immediate vicinanze, di fonti inquinanti come fabbriche, industrie e traffico, essendo una zona prevalentemente coltivata e boschiva. I forofiti scelti appartengono alla Famiglia *Fagaceae*, genere *Quercus*, specie *Quercus pubescens* e sono collocati all'interno di un giardino privato.

Dall'indagine effettuata è possibile constatare come il sito in esame abbia una situazione ambientale differente rispetto a quella delle altre due zone, Maratta Bassa e Cesi. Infatti, anche se l'I.B.L. ottenuto a Massa Martana ricade nella stessa fascia di quello di Cesi (I.B.L. 114, "Naturalità bassa/Alterazione bassa") è comunque vero che per certi aspetti il quadro generale che si presenta a Massa Martana è migliore. Da un'analisi visiva quello che si evince è l'ampio grado di copertura dei fusti dei forofiti presenti. Essi appaiono, infatti, completamente ricoperti da licheni ap-

La zona sottoposta a maggior stress ambientale è Maratta Bassa dove più alta è la concentrazione di fonti di inquinamento

partenenti, soprattutto, a generi foliosi quali *Xanthoria*, *Physcia*, *Physconia* e *Parmelia*. Anche a livello cromatico è importante notare come a parità di specie i colori dei licheni osservati nella zona di controllo siano molto più vivaci e intensi di quelli delle specie licheniche rilevate nelle altre due zone. Inoltre, dalla valutazione delle strutture deputate alla riproduzione sessuata, cioè gli apotecii, è possibile dedurre quanto siano maggiormente favorevoli allo sviluppo dei licheni le condizioni ambientali in cui essi si trovano, in quanto tali apparati risultano possedere dischi grandi e ben visibili anche ad occhio nudo. Per di più, i lobi dei licheni appartenenti al genere *Parmelia* appaiono più rigogliosi e consistenti al tatto rispetto a

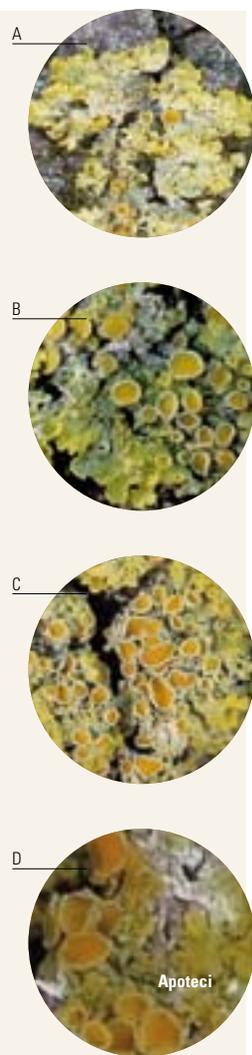


Figura 6
Confronto fra la stessa
specie lichenica, *Xanthoria
parietina*, rilevata nelle tre
aree di studio:
a) Maratta Bassa,
b) Cesi,
c) Massa Martana,
d) particolare di apotecia
lecanorini

quelli degli altri due siti che, laddove presenti, sono spesso sciupati e deteriorati. Come accennato precedentemente, gli effetti degli inquinanti sui licheni sono visibili a lungo termine anche ad occhio nudo, analizzando le loro caratteristiche macroscopiche e cromatiche. Gli aspetti macroscopici da valutare sono la grandezza del tallo, il suo grado di copertura, la grandezza del disco degli apotecia, il colore del tallo, l'ampiezza dei lobi, la resistenza del tallo. È stato possibile valutare questo tipo di cambiamenti considerando il lichene folioso *Xanthoria parietina* di colore giallo vivo con apotecia lecanorini, cioè apotecia che presentano un disco interno di colore arancio e un margine dello stesso colore del tallo (figura 6). L'aspetto cromatico e la grandezza dei lobi di *X. parietina* permettono di valutare le variazioni ambientali che avvengono in una zona a causa del tasso di inquinamento. Osservando l'immagine (figura 6) è possibile paragonare la stessa specie lichenica (*X. parietina*) nei tre siti esaminati: Maratta Bassa, Cesi e Massa Martana. Partendo dal presupposto che le foto siano state scattate con la stessa fotocamera e con lo stesso ingrandimento 10x, quello che ne risulta è una differenza evidente sia a livello cromatico che di dimensioni del tallo. Infatti, mentre il lichene della zona di Maratta Bassa (a) ha un colore sbiadito e presenta un numero basso di apotecia di piccole dimensioni, man mano che ci si allontana da tale sito a massima ricaduta si avverte un miglioramento delle condizioni ambientali. A Cesi (b), infatti, il colore del lichene risulta più vivo, il tallo aumenta di dimensioni e i lobi acquistano un aspetto più consistente. Se ci spostiamo poi a Massa Martana (c) è evidente il miglioramento di tutti gli aspetti considerati: il colore del tallo e degli apotecia è deciso e gli apotecia stessi sono grandi e numerosi. In questi 18 mesi è stato effettuato un campionamento per ogni sito, ma è importante puntualizzare che questo tipo di indagine, ovviamente, necessita di più tempo e di un numero maggiore di campionamenti per poter stabilire le variazioni delle condizioni generali di un sito. Il nostro lavoro, dunque, può essere considerato l'inizio di un monitoraggio che per essere significativo dovrebbe essere effettuato almeno per alcuni anni. È noto che gli effetti sui licheni sono visibili solo dopo una esposizione prolungata e se ci sarà ancora l'opportunità di continuare questo tipo di studio nei prossimi anni, sarà possibile attraverso indagini epidemiologiche, definire anche gli effetti che le polveri e gli inquinanti in generale hanno sulla salute umana. Alla fine del nostro lavoro e alla luce dei risultati ottenuti, quello che si può affermare è lo stato di deterioramento e lo stress ambientale a cui è sottoposta la zona di Maratta Bassa, dove è alta la concentrazione di fonti di inquina-

mento. È importante, inoltre, sottolineare che questo studio non permette di avere risultati quantitativi ma solo qualitativi; non è dunque possibile quantificare l'effetto degli inquinanti sugli organismi e tanto meno stabilire quale sostanza fra tutte influisce in maniera più negativa delle altre. A tal fine occorrerebbe approfondire l'indagine utilizzando i licheni come bioaccumulatori. Conferma del fatto che la zona di Maratta Bassa è sottoposta ad uno stress ambientale maggiore rispetto agli altri due siti sono anche i dati ottenuti dagli altri studi condotti nelle stesse zone nello stesso periodo incentrati sul monitoraggio chimico dell'aria e del suolo e sullo studio delle api e del miele come bioindicatori della qualità dell'aria. In particolare, le analisi di IPA, particolato atmosferico, sostanze gassose, PCB e metalli nelle matrici suolo e aria hanno permesso di dimostrare che le concentrazioni di tali sostanze sono più elevate nella zona di Maratta Bassa rispetto alle altre due zone oggetto di studio. Inoltre, i risultati ottenuti dalle analisi di IPA e metalli pesanti effettuate sul miele e sulle api confermano che nella zona limitrofa ai tre termovalorizzatori si verifica una deviazione dalle condizioni normali dei componenti degli ecosistemi considerati.

Riferimenti bibliografici

- Anderi P., Baldi D., Bortolas D. (2005). Bioindicazione della qualità dell'aria mediante l'uso di licheni epifiti; Agenda 21 Laghi, 11-12.
- ANPA (2001). I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica, Manuale ANPA; Manuali e Linee Guida 2/2001
- APAT - Università di Roma "La Sapienza" (2003). Dipartimento di Biologia Vegetale "Rete di biomonitoraggio permanente in Italia centrale con l'Indice di Biodiversità Lichenica (I.B.L.) Umbria con la collaborazione dell'ARPA Umbria.
- ARPA Sezione di Rimini, Provincia di Rimini (2003). Biomonitoraggio della qualità dell'aria nel territorio della provincia di Rimini mediante la biodiversità dei licheni epifiti; Provincia di Rimini.
- ARPA Umbria (2006). Studio per la valutazione di ricaduta al suolo di Polveri Sospese Totali da impianti di Termovalorizzazione Area di Maratta - Comune di Terni. Rapporto tecnico.
- ARPAV (2004). Biomonitoraggio della qualità dell'aria nella provincia di Treviso (Siniestra Piave) mediante l'impiego di licheni epifiti; Dipartimento di Treviso, 25-26.
- Loppi S., Frati L. (2003). Biomonitoraggio della qualità dell'aria tramite licheni epifiti nel territorio interessato dalla centrale Turbogas presso lo zuccherificio Sadam.
- Università degli Studi di Siena - Dipartimento di Scienze Ambientali "G. Sarfatti"; Comune Jesi, 1-9.
- Miani N., Skerr N., Grahonja R., Mariuz M. (2006). Biomonitoraggio dell'inquinamento da gas fitotossici della provincia di Trieste tramite licheni come bioindicatori; Relazione finale, 2-9.
- Miani N., Skerr N., Grahonja R., Mariuz M. (2006). Atlante dei licheni epifiti più comuni rinvenuti in studi di biomonitoraggio ambientale nella provincia di Trieste. ARPA FVG, Dipartimento di Trieste, 1-9.
- Nimis P.L. (1991) I licheni come bioindicatori dell'inquinamento atmosferico "La qualità dell'aria"; Università di Trieste, Dipartimento di Biologia
- Tretiacch M. Chiavi analitiche per l'identificazione dei più comuni licheni epifiti d'Italia. Dipartimento di Biologia, Università di Trieste.
- Whirt V., (1995). Die Flechten Baden-Württembergs. Ulmer & Co., Stuttgart. 2 voll.

Note

- ¹ www.uklichens.co.uk.pictureindex.html
- ² http://space.comune.re.it/cca/scuola/pagine/ipertesti/licheni/cap4_chiavi/lista3.html
- ³ www.dryades.eu