

MARCO MATASSONI & ROBERTO ZORER

PRECIPITAZIONI ACIDE E PROBLEMATICHE SUGLI INDICATORI BIOLOGICI (*)

Abstract - MARCO MATASSONI, ROBERTO ZORER - Acid precipitations and problems on biological indicators.

The one-year research consists in a collection and a data processing concerning acidity of precipitations in the territory of Rovereto from June 1985 to September 1986 and of some observations about deterioration of lichens as biological indicator of the environmental pollution.

The study has pointed out an increasing of acidity along with the precipitations. Besides, it is mentioned the possibility to quantify the damage suffered by lichens through a spectrophotometric analysis.

Key words: Acid precipitation, Biological indicator, Environmental research, Lichen.

Riassunto - MARCO MATASSONI, ROBERTO ZORER - Precipitazioni acide e problematiche sugli indicatori biologici.

La ricerca consiste in una raccolta ed elaborazione di dati riguardanti l'acidità delle precipitazioni nel territorio del Comune di Rovereto tra il giugno 1985 e il settembre 1986 e in alcune osservazioni sul deperimento dei licheni, usati come indicatori biologici della qualità dell'aria. Lo studio ha evidenziato un aumento dell'acidità al perdurare delle precipitazioni. Si accenna inoltre alla possibilità di quantificare il danno subito dai licheni attraverso una analisi spettrofotometrica.

Parole chiave: Precipitazioni acide, Indicatore biologico, Ricerca ambientale, Lichene.

PREMESSA

Scopo del lavoro è raccogliere una serie di dati per una prima valutazione sul fenomeno delle precipitazioni acide nel territorio di Rovereto. In base ai risultati dell'Indagine sulla qualità ambientale del territorio comunale di Ro-

(*) Questo lavoro ha ottenuto il -Premio di merito- al 19° Concorso Philips.

vereto- (Perin, Bettini, Marcuzzi, '85), in cui venivano presentati alcuni dati di pH interessanti, si è voluto proseguire la misurazione dell'acidità delle precipitazioni servendosi di deposimetri particolari, in grado di campionare solo l'acqua caduta nei primi minuti di pioggia. In questo modo si volevano ottenere dei valori di pH che si riferissero alle singole precipitazioni e non ad un dato medio mensile, come proposto nel lavoro precedente.

Si ritiene inoltre importante accostare al dato fisico-chimico un dato biologico, in modo da verificare se le modificazioni riscontrate a livello chimico vengono recepite anche da un indicatore biologico.

Il lavoro non vuole esaurire tutte le problematiche collegate al fenomeno delle piogge acide, ma stimolare alcune riflessioni di carattere metodologico evidenziando anche alcuni spunti operativi, che pur fornendo delle indicazioni di base necessitano di ulteriore verifica.

METODOLOGIA

Indagine fisico-chimica

Per raccogliere la prima acqua di ogni precipitazione sono stati utilizzati quattro deposimetri a bilancere (D1, D3, D7, D9) (vedi fig. 1), distribuiti sul territorio comunale in 4 punti secondo due assi ortogonali tra loro in direzione circa Nord-Sud ed Est-Ovest come mostra la figura 2.

La raccolta dei campioni d'acqua veniva effettuata dopo ogni precipitazione e talora, se la precipitazione si prolungava nel tempo, si ripeteva più volte anche nell'arco della stessa giornata. Il prelievo dei campioni è iniziato nel giugno del 1985 e si è protratto fino al settembre del 1986.

Durante le misure si è usato un agitatore magnetico per evitare la precipitazione di eventuali ioni pesanti, che potevano influenzare la misurazione. La lettura del pH per tutti i campioni è stata effettuata ad una temperatura compresa tra 18 e 23 gradi. Il tempo intercorso tra la raccolta e la rilevazione del pH non ha mai superato il limite delle 48 ore.

Per una lettura più corretta sono stati raccolti anche i dati della stazione meteorologica del Convento Franciscano di S. Rocco in Rovereto, riportando: temperatura e direzione del vento al momento dell'inizio della precipitazione, la quantità di pioggia o neve caduta e la durata in minuti del fenomeno.

La siglatura dei deposimetri è avvenuta tenendo presente l'indagine precedente promossa dal Comune di Rovereto (Perin, Bettini, Marcuzzi, '85) e la possibile prosecuzione di questo lavoro con l'aumento delle stazioni di rilevamento.

Indagine biologica

Per questo tipo di ricerca servivano organismi vegetali o animali che potessero risentire degli effetti di un inquinamento da piogge acide o perlomeno da anidride solforosa (una delle principali cause d'acidità delle precipitazioni locali). In questo modo si voleva tentare una verifica biologica del dato chimico.

Dopo la lettura di alcuni articoli e lavori sull'argomento (vedi bibliografia), sono stati scelti licheni della specie *Parmelia physodes* (L.) Ach., che rispondevano ad alcune nostre esigenze:

- 1) sensibilità nei confronti di agenti inquinanti;
- 2) facilità di reperimento nei boschi di montagna;
- 3) possibilità di esporli in vari punti della città;
- 4) possibilità di ottenere risultati significativi tramite una indagine fotografica.

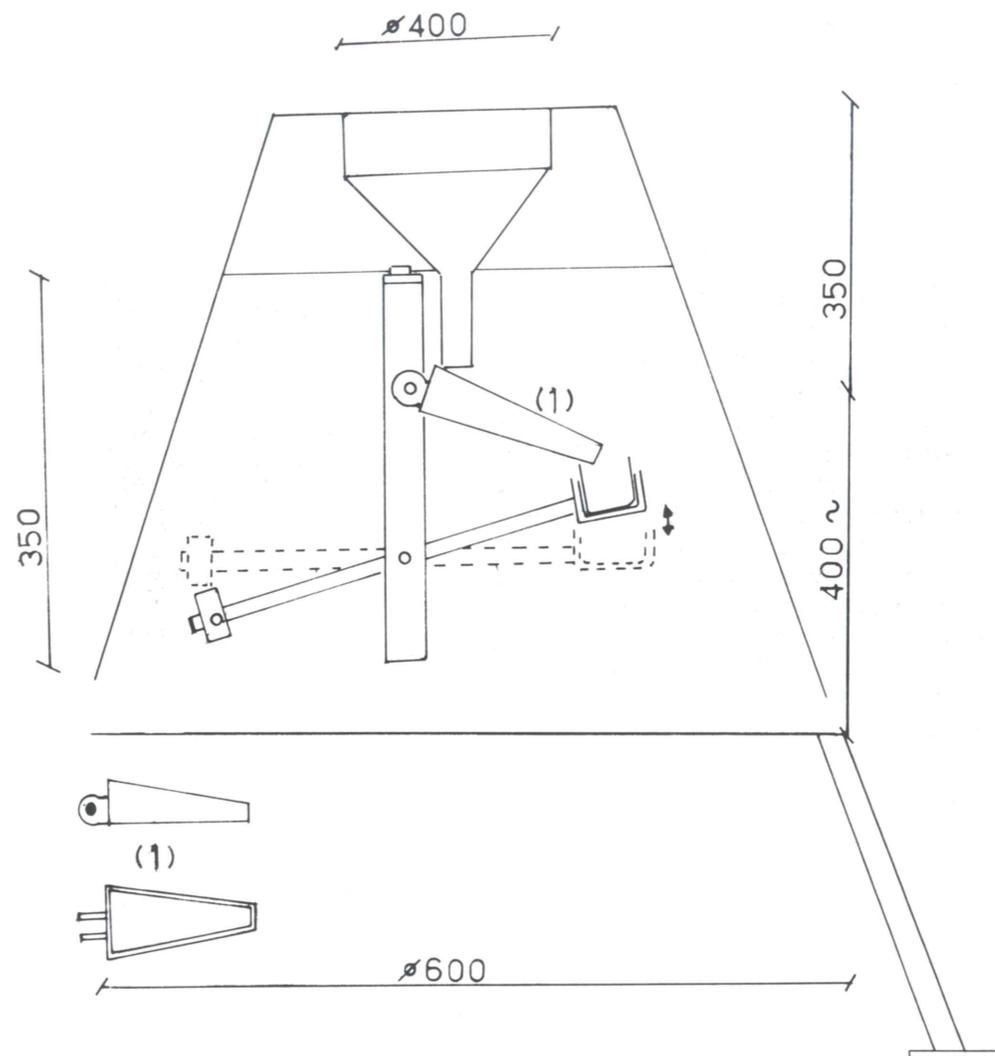


Fig. 1 - Disegno schematico del deposimetro a bilancere.

I licheni sono associazioni simbiotiche costituite dall'unione di ife fungine con alghe. A differenza delle piante comuni, i licheni mancano di cuticola e perciò gli scambi gassosi e l'assorbimento di sostanze nutritive avvengono su tutta la superficie. Questo spiega la loro estrema sensibilità agli inquinanti, che possono provocare seri danni anche se sono presenti nell'aria in concentrazioni relativamente basse.

Un primo dato per la ricerca è stato ricavato dall'assenza dei licheni di questa specie sulle cortecce degli alberi di Rovereto. Trovano invece il loro habitat ideale a 1100 metri di quota, nella località Prà del Lac nell'alta Val di Gresta, lungo il versante del Monte Biaena (vedi fig. 3). In questa zona montana sono stati prelevati da larici, asportandoli assieme ad una parte della corteccia. In seguito si sono fissati sei esemplari di circa 7-8 cmq, su cinque tavolette inerti di resine artificiali (secondo analoghi lavori effettuati in aree diverse da altri autori) (vedi fig. 4). Quattro di queste sono state esposte accanto ai deposimetri, una quinta nel centro cittadino presso la Scuola Musicale (vedi fig. 2).

Dopo circa un mese i campioni venivano regolarmente ritirati, idratati con acqua distillata per 3-4 giorni, in modo da metterne in rilievo eventuali parti in necrosi, e infine venivano fotografati uno ad uno e riesposti nei vari punti della città.

Alcune parti del tallo sono state esaminate allo stereo microscopio e al microscopio ottico prima e dopo l'esposizione. In questo modo sono stati collegati i risultati della indagine fotografica con osservazioni a livello microscopico, su preparati ottenuti per dilacerazione e successiva chiarificazione in glicerina, e su sezioni trasversali.

Tempo di esposizione. Nella seguente tabella sono riportate le date di ritiro e di esposizione delle tavolette dei licheni, nonché il numero di giorni durante i quali sono state esposte.

num. esposizione	data	giorno raccolta	giorni esposti
1	26- 9-1985	26-10-1985	30
2	31-10-1985	3-12-1985	33
3	10-12-1985	13- 1-1986	34
4	21- 1-1986	4- 3-1986	42
5	27- 3-1986	9- 5-1986	43

Complessivamente i licheni sono rimasti 182 giorni a contatto con l'aria della nostra città, fissati su alberi a un'altezza di circa 2 metri da terra, e rivolti verso Nord-Est.

Analisi fotografica. Per poter evidenziare eventuali cambiamenti nella struttura dei licheni in seguito alle varie esposizioni ed avere a disposizione materiale confrontabile in qualsiasi momento, sono state effettuate delle riprese fotografiche.

A una prima osservazione delle diapositive scattate nel settembre 1985 e nel maggio 1986 si notavano differenze rilevanti. In particolare si poteva vedere

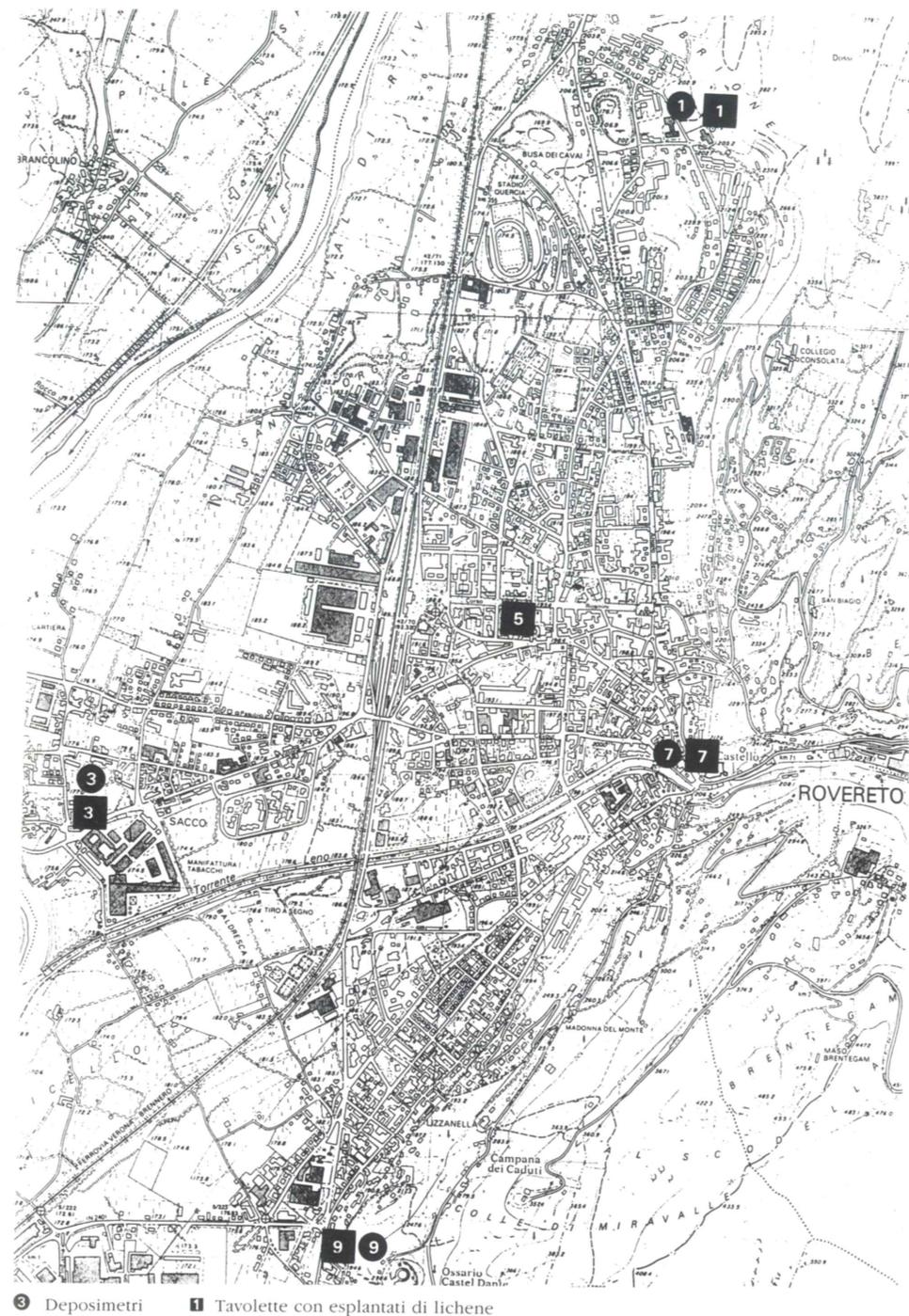


Fig. 2 - Localizzazione dei 4 deposimetri usati per la raccolta delle acque meteoriche.



Fig. 3 - Particolare di lichene della specie *Parmelia physodes* (L.) Ach. fotografato su corteccia di larice in località Pra del Lac (Monte Biaena) a m 1100.

una riduzione della superficie del lichene e le parti chiare evidenziavano gravi necrosi alle strutture del tallo.

Mediante una lavagna luminosa si è provveduto a ricalcare su carta da lucido millimetrata i margini esterni del lichene fotografato su diapositiva e a colorare le parti chiare che corrispondono alle necrosi. Per ogni tavoletta sono state calcolate le superfici sane dei 6 licheni al momento della prima esposizione e dopo il ritiro definitivo. Per evidenziare se il danno era stato progressivo o limitato ad un certo arco di tempo sono state analizzate con il medesimo metodo le riprese fotografiche intermedie.

In seguito si è cercato di quantificare i danni in un altro modo, tentando un'analisi con spettrofotometro. Infatti in base ai primi risultati dell'analisi fotografica e dell'osservazione microscopica si è supposto che un'analisi delle bande di assorbimento della clorofilla, presente in un lichene sano e in uno in necrosi, avrebbe potuto offrire ulteriori dati significativi.

Analisi con spettrofotometro. Un problema che non va sottovalutato e che richiede ulteriori approfondimenti è la corretta tecnica per la migliore estrazione della clorofilla dai licheni.

A parte alcune modifiche legate alla frantumazione del prodotto, si è utilizzata una metodica, solitamente adottata per l'estrazione della clorofilla dalle

alghe, che ha dato discreti risultati. Il metodo fornito gentilmente dalla Stazione Sperimentale Agraria Forestale di S. Michele all'Adige, viene qui sinteticamente riproposto:

- passare al mortaio una quantità sufficiente di lichene asciutto;
- diluire in 10 cc. di acetone (90%) 1 gr. del tallo polverizzato;
- centrifugare a 1200 giri per 20 minuti il miscuglio;
- conservare la provetta a 4 gradi per 48 ore.

La lettura dell'assorbanza è stata eseguita sia per gli estratti di licheni esposti sia di quelli sani, su un arco di bande comprese tra 600 e 750 nanometri. I dati ottenuti sono stati riportati su tabelle e grafici.

STRUMENTAZIONE

Per l'indagine chimico-fisica sono stati utilizzati:

- pHmetro modello Crison 501;
- deposimetri. Grazie ad un sistema di leve raccolgono in un barattolino solamente la prima acqua caduta (80 cc.).

L'indagine biologica ha richiesto:

- tavolette inerti di resine artificiali (Forex da 3 mm);
- stereo microscopio WILD M3;
- microscopio ottico LEITZ LABORLUX 12;
- sistema per microfotografia con esposimetro LEITZ MPS5 e pellicole EKTA-CHROME DIA 100 ASA in formato 6 x 6 eseguite mediante:
 - a. fotocamera reflex 6 x 6 (Hasselblad), tubi di prolunga di tiraggio pari a 70 mm;
 - b. obiettivo medio tele (Sonar 150 mm);
 - c. illuminazione flash anulare.

Per l'analisi mediante spettrofotometro abbiamo utilizzato:

- spettrofotometro BAUSCH & LOMB mod. SECTRONIC 70.

I risultati della ricerca sono stati registrati tramite il PERSONAL COMPUTER IBM su programma FRAMEWORK II. Tutti i dati, archiviati su disco, sono a disposizione presso il Museo Civico di Rovereto.

PRESENTAZIONE DEI DATI FISICI E BIOLOGICI

Vengono riportate di seguito le misure di pH delle precipitazioni, la documentazione fotografica, nonché le osservazioni relative al deperimento del tallo lichenico, con il tentativo di quantificarne il danno.

I dati dell'analisi fisica sono stati riportati in tabelle dove compaiono i giorni in cui si sono verificate le precipitazioni campionate, i corrispondenti valori del pH relativi ai quattro deposimetri, la quantità di pioggia caduta, la durata

del fenomeno, la direzione di provenienza del vento e la temperatura all'inizio della precipitazione. Per indicare che un dato di pH non è stato rilevato si è usata la sigla «np». È importante tenere presente che un valore di pH 5,5-5,6 è ritenuto normale per una precipitazione ed è dovuto alla naturale presenza di ossidi di carbonio, azoto e zolfo nell'atmosfera. Se le misure indicano pH inferiori o superiori vuol dire che sono intervenuti altri agenti a portare tali modificazioni. Inoltre si riportano, in una tabella riassuntiva, i valori medi mensili di acidità per i vari deposimetri.

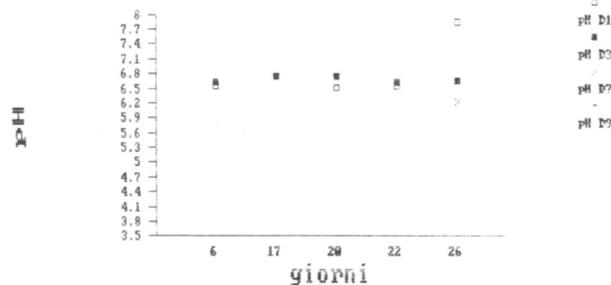
I dati dell'analisi biologica si riferiscono alla documentazione fotografica, ai dati percentuali sul deperimento dei licheni dopo le varie esposizioni e ai risultati ottenuti con l'impiego dello spettrofotometro. Questi ultimi sono sicuramente da rivedere e approfondire in quanto esistono molti punti oscuri riguardo la metodologia da seguire in questo tipo di ricerca, così come nell'interpretazione dei dati che ne risultano.

Alcune interessanti osservazioni si possono trarre comparando le diapositive scattate ai licheni prima e dopo l'esposizione. Le fotografie ottenute con tecniche e strumenti diversi ci permettono di evidenziare le differenze tra i vari preparati. Immagini a diversi ingrandimenti cercano di documentare le strutture del tallo sano e di quello che presentava necrosi.

pH giu85

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
6	6,56	6,63	np	np	15,90	165	SO	28
17	6,75	6,76	np	np	4,50	300	NE	16
20	6,51	6,74	np	np	9,50	480	NE	16
22	6,54	6,62	np	np	16,90	480	CA	19
26	7,86	6,66	6,24	np	5,70	225	NE	23

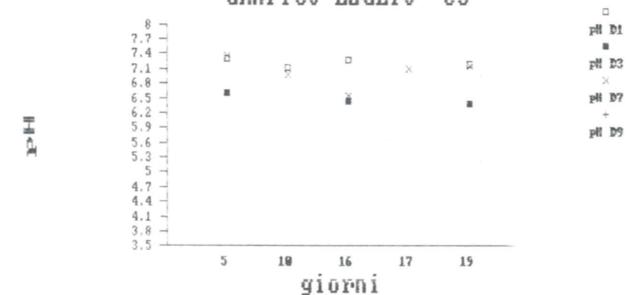
GRAFICO GIUGNO '85



pH lug85

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
5	7,31	6,61	7,35	np	5,60	540	SO	25
10	7,13	np	6,98	np	7,20	30	SO	29
16	7,28	6,44	6,54	np	1,60	90	NE	23
17	np	np	7,09	np	8,60	210	NE	27
19	7,18	6,37	7,16	np	2,00	60	CA	20

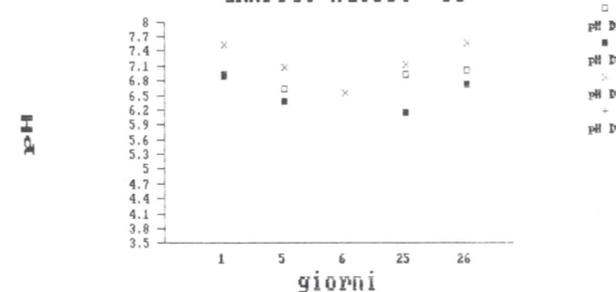
GRAFICO LUGLIO '85



pH ago85

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
1	6,91	6,90	7,54	np	4,40	300	SO	24
5	6,62	6,38	7,07	np	44,70	840	SO	16
6	np	np	6,54	np	27,00	210	NE	20
25	6,93	6,15	7,13	np	2,40	45	SO	29
26	7,00	6,73	7,55	np	8,30	195	SO	17

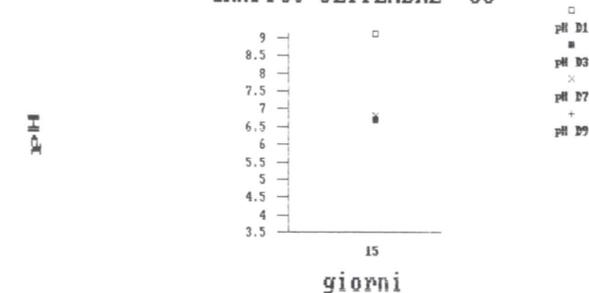
GRAFICO AGOSTO '85



pH set85

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
15	9,12	6,69	6,83	np	3,80	210	SO	25

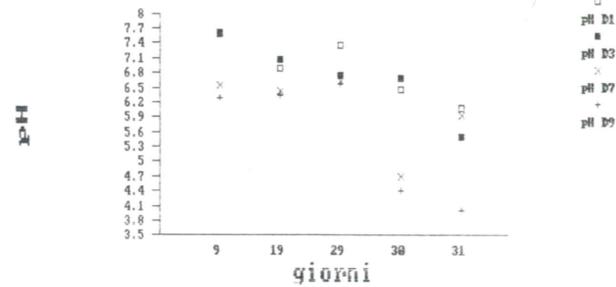
GRAFICO SETTEMBRE '85



pH ott85

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm	perc. mi	prec. dir.	ven	temp
9	7,63	7,60	6,54	6,28	33,50	180	CA	12	
19	6,90	7,07	6,44	6,33	4,50	165	CA	14	
29	7,36	6,75	6,64	6,57	,20	90	CA	9	
30	6,45	6,70	4,70	4,40	3,60	180	CA	10	
31	6,09	5,50	5,95	4,00	13,60	540	CA	12	

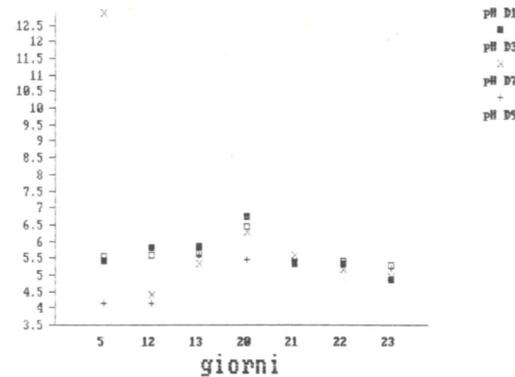
GRAFICO OTTOBRE '85



pH nov85

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm	perc. mi	prec. dir.	ven	temp
5	5,56	5,45	12,87	4,15	1,00	120	CA	8	
12	5,58	5,83	4,40	4,13	11,20	660	S	7	
13	5,64	5,84	5,35	5,58	29,50	930	S	5	
20	6,46	6,76	6,28	5,49	6,30	600	NE	4	
21	5,36	5,39	5,59	5,36	8,20	1440	NE	4	
22	5,42	5,36	5,17	5,35	7,00	1440	NE	3	
23	5,29	4,89	4,95	5,22	6,60	1200	NE	3	

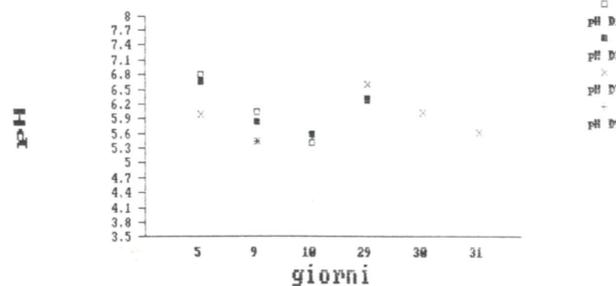
GRAFICO NOVEMBRE '85



pH dic85

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm	perc. mi	prec. dir.	ven	temp
5	6,80	6,65	5,99	np	1,60	210	CA	3	
9	6,06	5,84	5,46	5,44	1,20	360	CA	7	
10	5,42	5,60	5,50	np	13,50	630	CA	7	
29	6,30	6,32	6,59	np	10,20	720	NE	1	
30	np	np	6,02	np	8,20	720	NE	5	
31	np	np	5,62	np	3,80	690	NE	3	

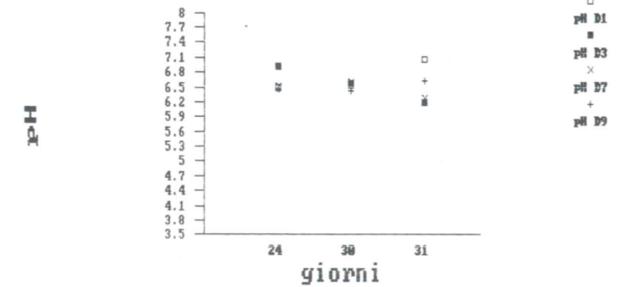
GRAFICO DICEMBRE '85



pH gen86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm	perc. mi	prec. dir.	ven	temp
24	6,48	6,93	6,51	6,46	5,70	870	NE	3	
30	6,54	6,57	6,60	6,44	62,00	1140	NE	0	
31	7,08	6,20	6,30	6,63	130,00	1440	NE	0	

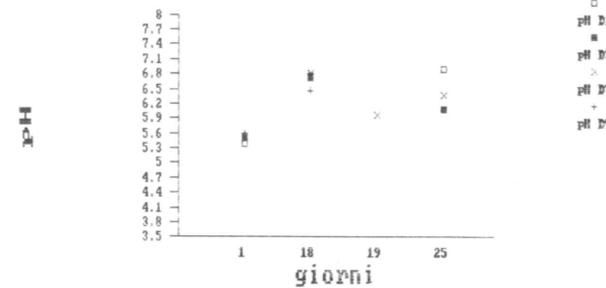
GRAFICO GENNAIO '86



pH feb86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm	perc. mi	prec. dir.	ven	temp
1	5,40	5,52	5,54	5,60	74,20	1020	NE	1	
18	6,75	6,73	6,82	6,45	5,80	315	CA	3	
19	np	np	5,98	np	5,70	1440	NE	3	
25	6,90	6,08	6,38	np	2,00	270	NE	2	

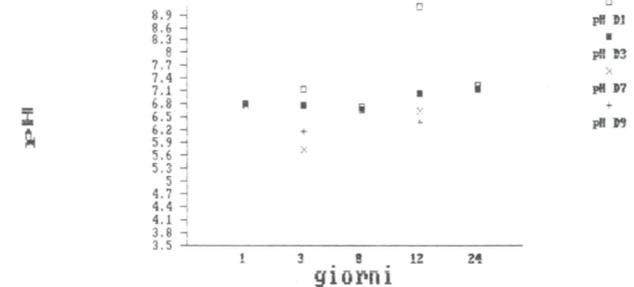
GRAFICO FEBBRAIO '86



pH mar86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm	perc. mi	prec. dir.	ven	temp
1	np	6,81	6,79	np	2,60	960	NE	0	
3	7,15	6,77	5,75	6,18	,60	600	NE	8	
8	6,75	6,68	6,69	np	1,30	900	NE	8	
12	9,08	7,06	6,64	6,39	,30	180	SO	9	
24	7,25	7,14	7,21	np	6,30	450	NE	7	

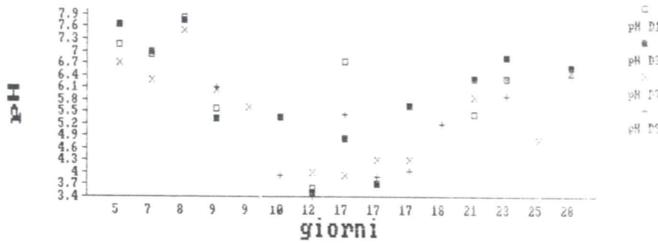
GRAFICO MARZO '86



pH opr86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
5	7,17	7,64	6,71	np	2,40	300	SO	16
7	6,92	6,97	6,28	np	8,80	510	NE	13
8	7,84	7,77	7,52	np	6,10	720	CA	13
9	5,59	5,33	6,02	6,10	39,40	870	NE	9
9	np	np	5,62	np	39,40	870	NE	9
10	5,36	5,35	np	3,92	4,00	600	CA	9
12	3,60	3,51	4,00	3,40	5,40	990	NE	8
17	6,74	4,85	3,94	5,44	21,20	570	CA	11
17	np	3,71	4,32	3,90	21,20	570	CA	9
17	np	5,63	4,32	4,02	21,20	570	CA	9
18	np	np	np	5,20	37,90	870	CA	9
21	5,45	6,30	5,86	np	1,50	900	CA	13
23	6,31	6,84	6,32	5,88	3,70	720	CA	11
25	np	np	4,80	np	8,00	1080	CA	14
28	np	6,60	6,50	6,37	41,20	1380	NE	10

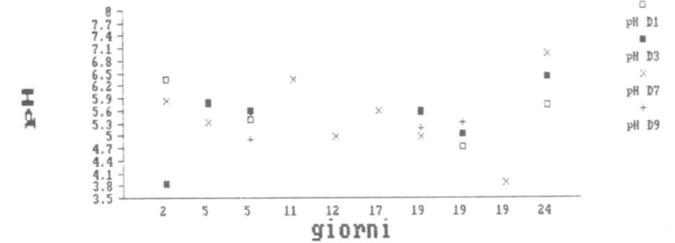
GRAFICO APRILE '86



pH giu86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
2	6,34	3,85	5,84	np	8,20	120	SO	13
5	5,77	5,80	5,33	np	4,20	120	NE	17
5	5,39	5,60	5,50	4,92	4,20	120	NE	17
11	np	np	6,35	np	7,20	240	SO	18
12	np	np	4,99	np	23,00	600	NE	13
17	np	np	5,60	np	4,40	270	SO	21
19	5,60	5,57	4,98	5,18	6,40	420	SO	19
19	4,72	5,06	5,06	5,32	6,40	420	SO	19
19	np	np	3,86	np	6,40	420	SO	19
24	5,75	6,42	6,98	6,42	10,70	105	SO	26

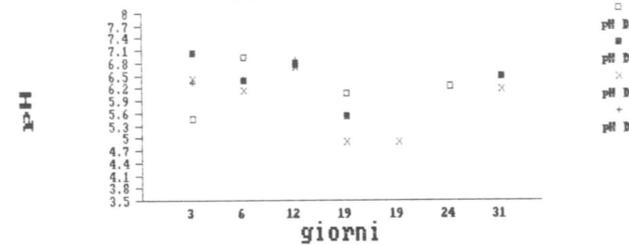
GRAFICO GIUGNO '86



pH lug86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
3	5,46	7,04	6,43	6,31	12,20	15	NE	30
6	6,94	6,39	6,15	6,43	3,00	75	SO	26
6	6,77	6,78	6,71	6,86	4,80	30	NE	25
19	6,08	5,54	4,90	np	16,20	480	NE	21
19	np	np	4,92	np	16,20	480	NE	21
24	6,24	np	np	np	1,80	10	NE	28
31	np	6,49	6,19	np	6,00	270	NE	28

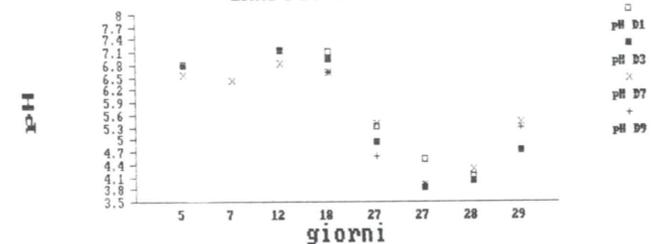
GRAFICO LUGLIO '86



pH ago86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir.ven	temp
5	np	6,79	6,57	np	3,60	75	SO	24
7	np	np	6,43	np	14,70	450	NE	21
12	np	7,14	6,82	np	20,10	255	SO	20
18	7,12	6,93	6,63	6,63	30,00	240	SU	19
27	5,31	4,93	5,40	4,60	18,10	420	SO	17
27	4,53	3,84	3,91	3,91	18,10	420	SO	17
28	4,13	4,02	4,28	np	20,40	450	SO	21
29	np	4,73	5,41	5,30	1,70	45	NE	13

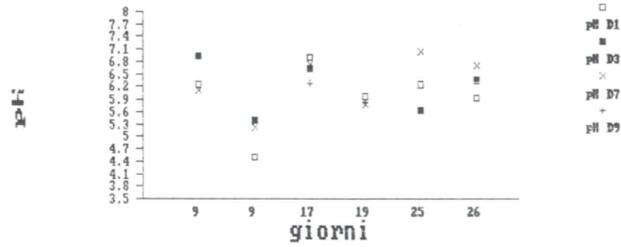
GRAFICO AGOSTO '86



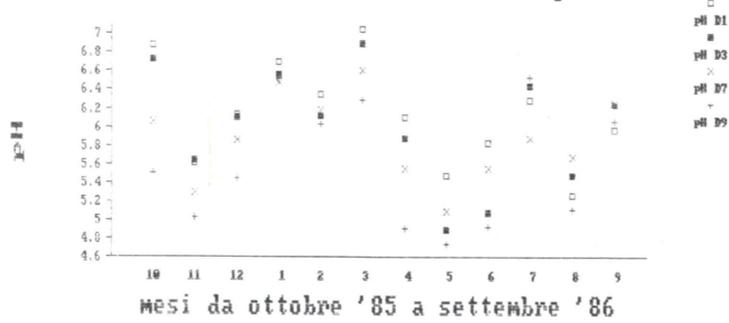
pH set86

giorni	pH D1	pH D3	pH D7	pH D9	mm prec.	mi prec.	dir. ven	temp
9	6,24	6,93	6,12	np	19,10	240	SO	20
9	4,49	5,40	5,23	np	19,10	240	SO	20
17	6,91	6,63	6,73	6,29	12,90	75	SO	18
19	5,97	np	5,77	5,83	2,20	255	S	19
25	6,24	5,64	7,05	np	1,30	150	NE	16
26	5,93	6,35	6,70	np	2,00	360	CA	16

GRAFICO SETTEMBRE '86



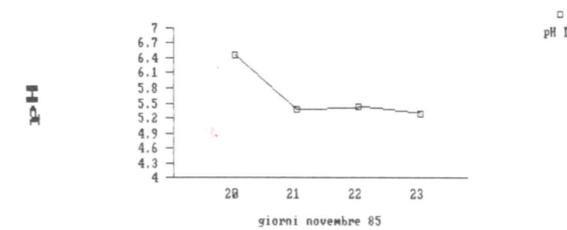
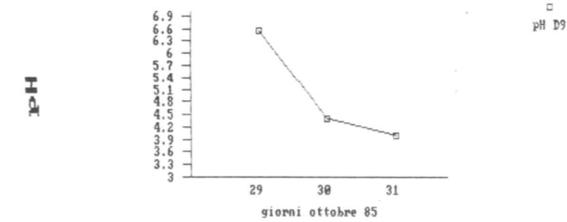
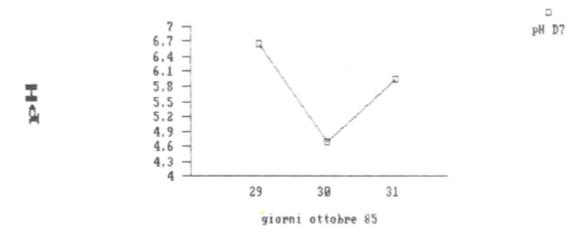
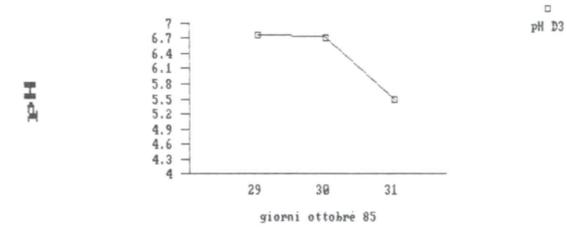
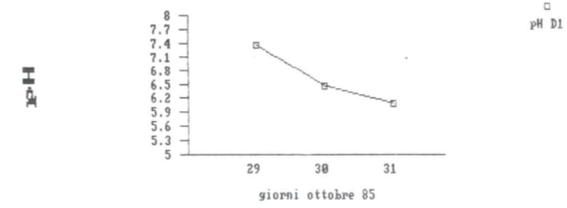
Andamento medio mensile di pH



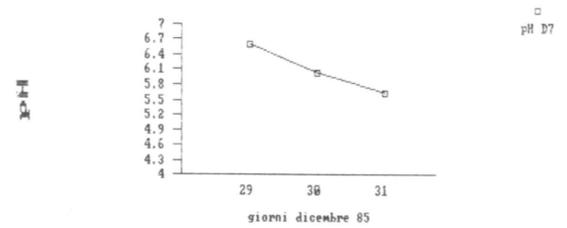
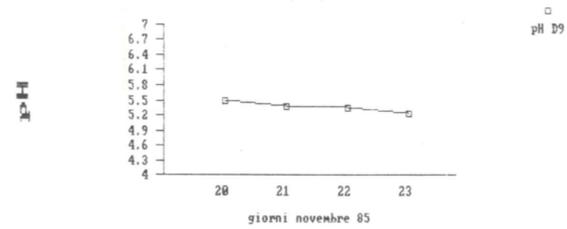
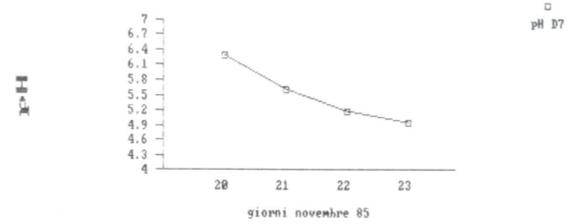
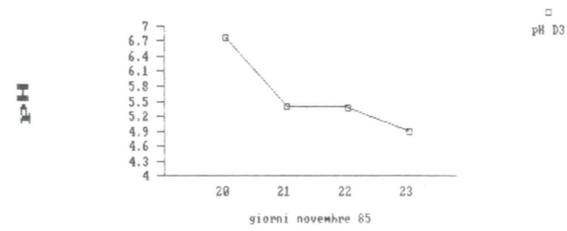
Deposimetro con i più bassi valori medi



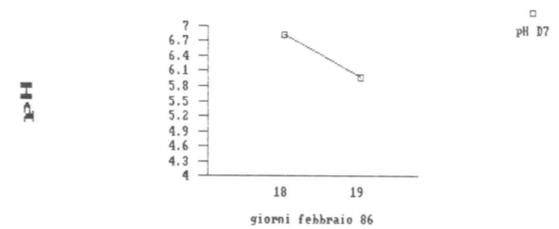
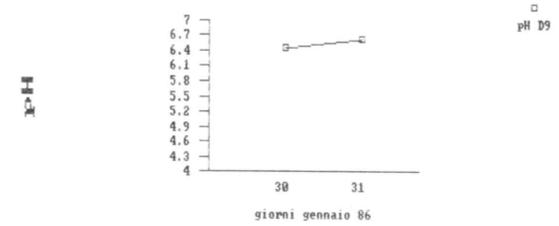
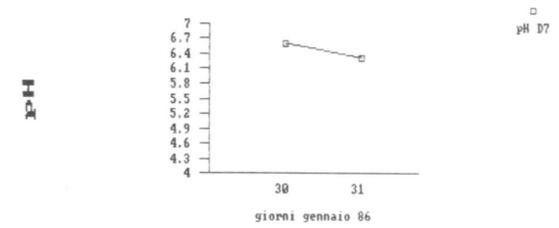
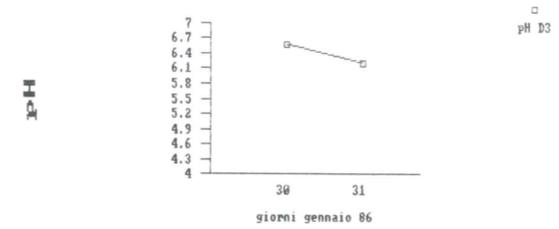
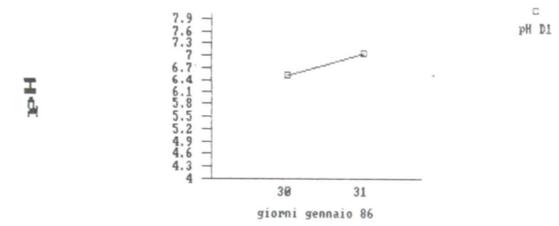
Andamento di pH al perdurare della pioggia



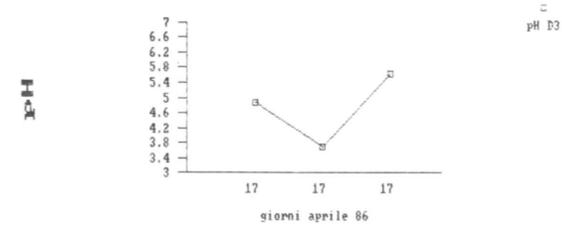
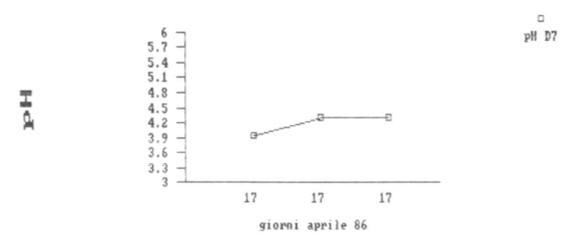
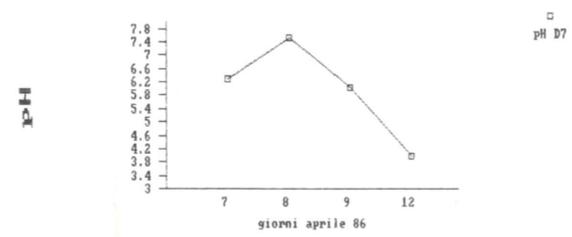
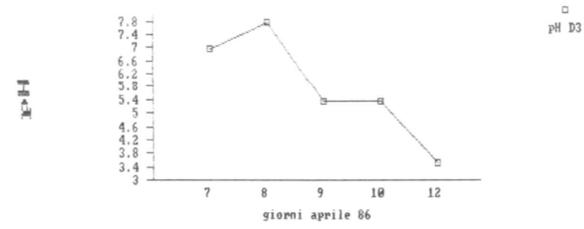
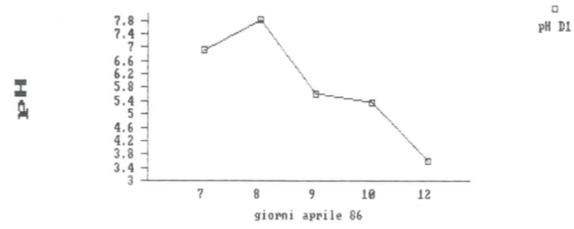
Andamento di pH al perdurare della pioggia



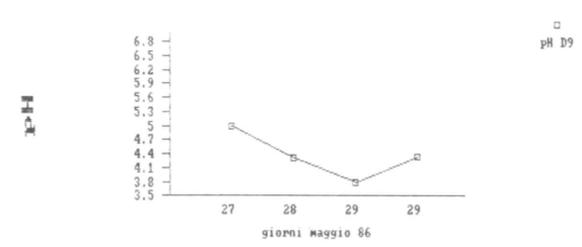
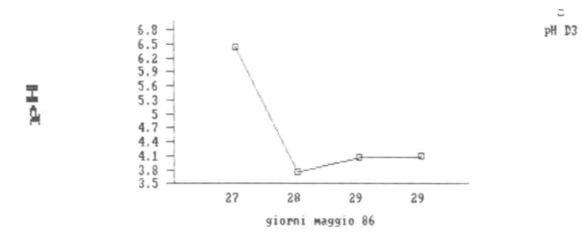
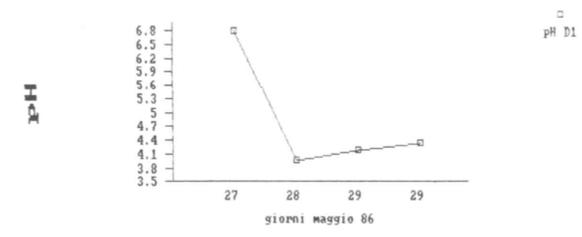
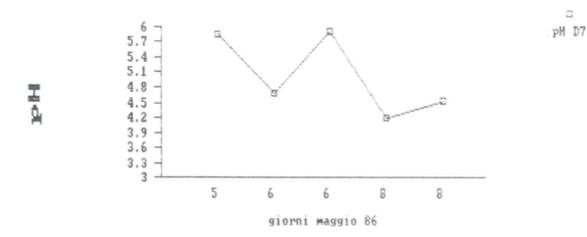
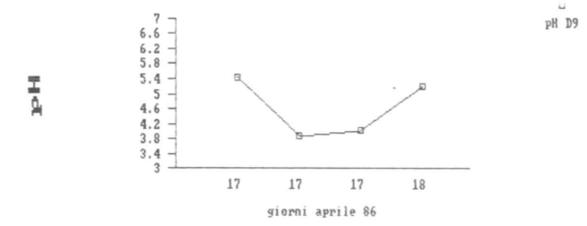
Andamento di pH al perdurare della pioggia



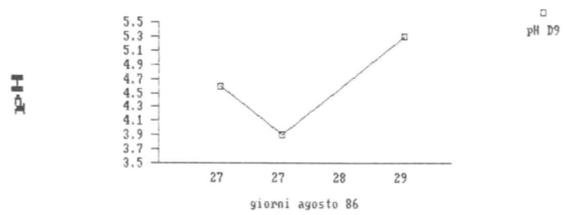
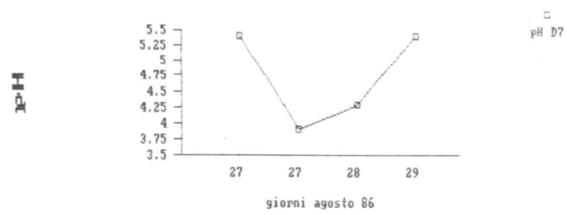
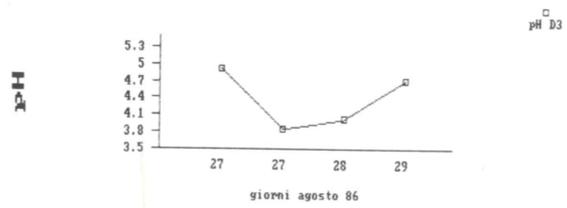
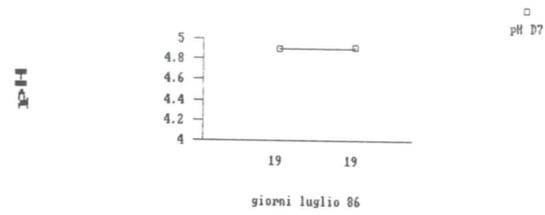
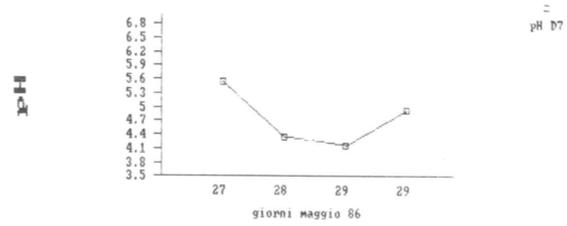
Andamento di pH al perdurare della pioggia



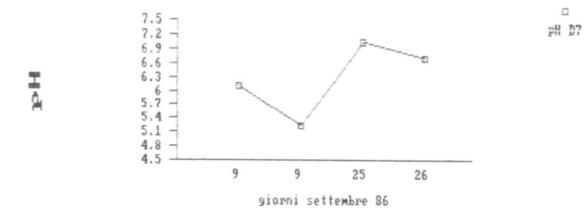
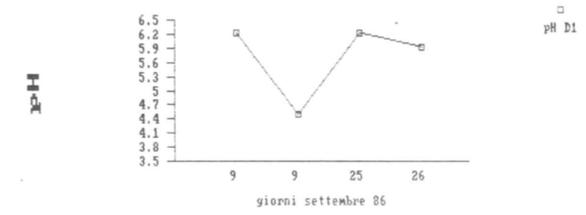
Andamento di pH al perdurare della pioggia



Andamento di pH al perdurare della pioggia



Andamento di pH al perdurare della pioggia



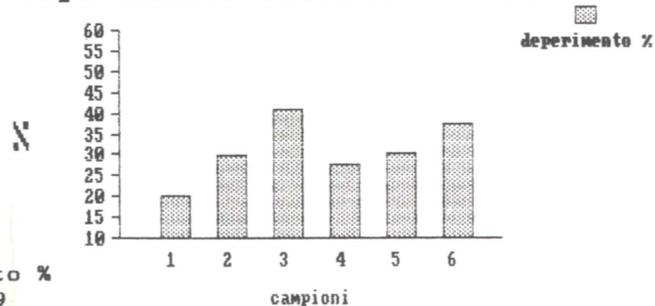
Deperimento del tallo lichenico dopo 182 giorni d'esposizione.

Nelle seguenti tabelle viene riportata in percentuale la superficie in necrosi del tallo lichenico calcolata dopo 182 giorni d'esposizione in ambito cittadino. Nei dati riassuntivi si analizza invece il deperimento medio per ogni tavoletta.

TAVOLETTA 1

campioni	deperimento %
1	19,85
2	29,46
3	40,75
4	27,53
5	30,24
6	37,07

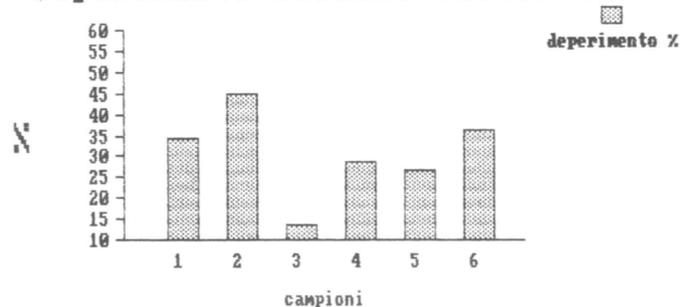
Deperimento licheni:tavoletta 1



TAVOLETTA 3

campioni	deperimento %
1	34,39
2	45,02
3	13,38
4	28,66
5	26,86
6	36,47

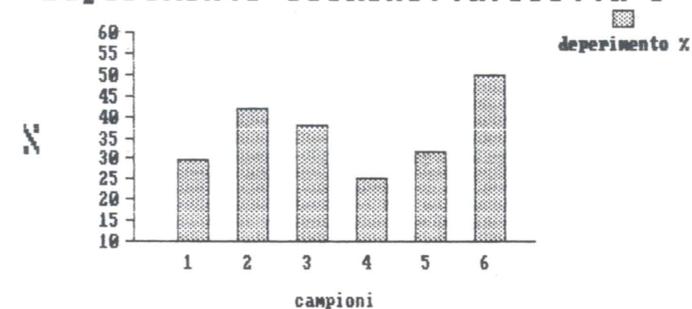
Deperimento licheni:tavoletta 3



TAVOLETTA 5

campioni	deperimento %
1	29,79
2	41,67
3	37,92
4	25,00
5	31,60
6	50,00

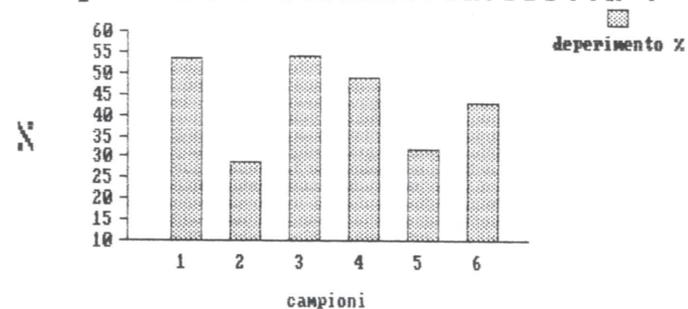
Deperimento licheni:tavoletta 5



TAVOLETTA 7

campioni	deperimento %
1	53,41
2	28,61
3	53,81
4	49,00
5	31,72
6	42,97

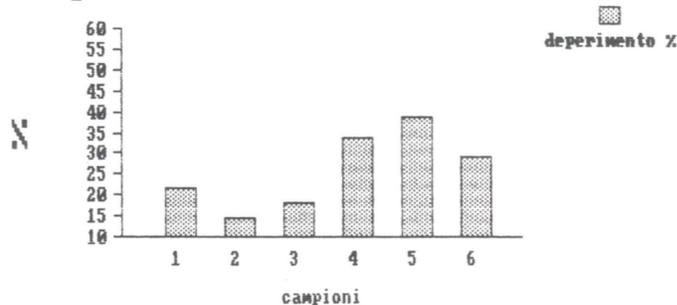
Deperimento licheni:tavoletta 7



TAVOLETTA 9

campioni	deperimento %
1	21,57
2	14,67
3	18,00
4	33,76
5	38,79
6	29,05

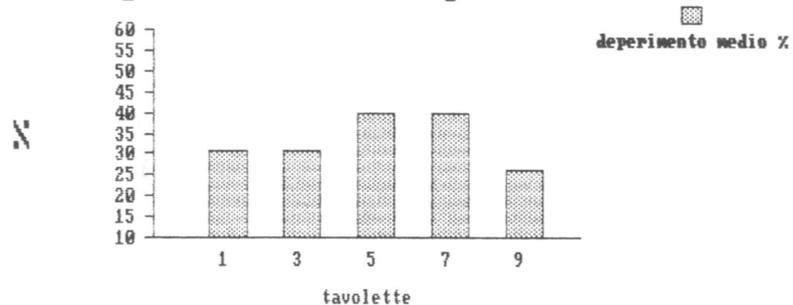
Deperimento licheni:tavoletta 9



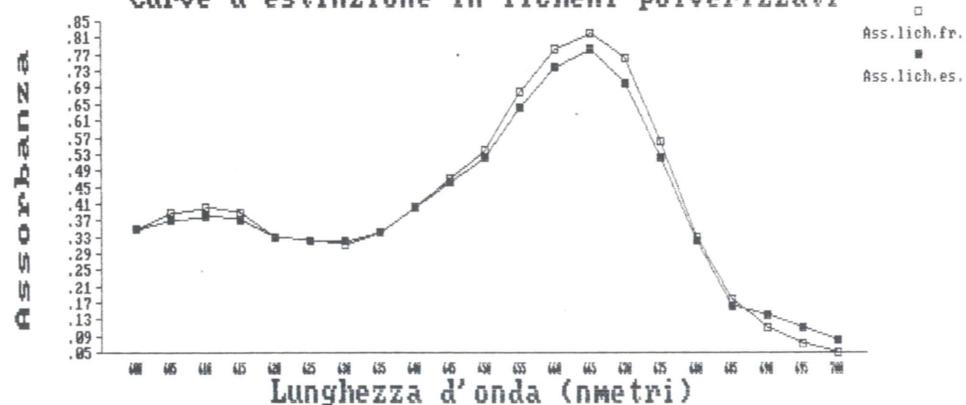
Dati riassuntivi

tavolette	deperimento medio %
1	30,82
3	30,80
5	39,79
7	39,83
9	26,00

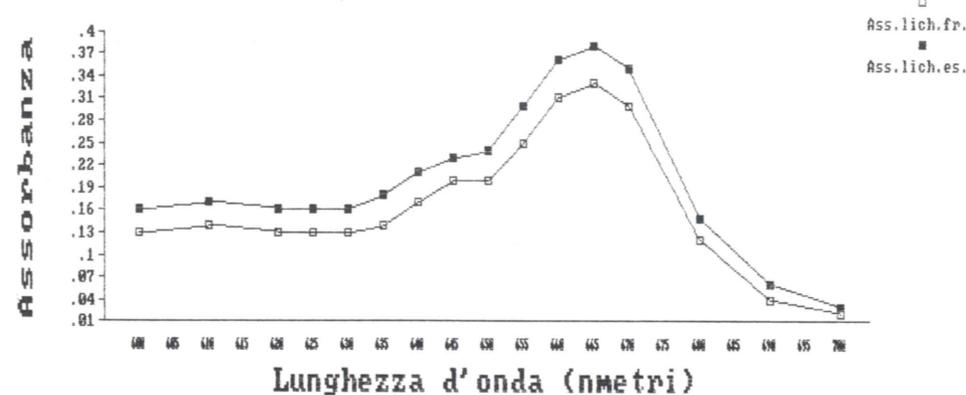
Deperimento medio per tavoletta



Curve d'estinzione in licheni polverizzati



Curve d'estinzione in licheni sminuzzati



CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati della ricerca rivelano alcune tendenze interessanti.

Quasi sempre i valori di pH delle prime piogge raccolte sono superiori alla norma (5,6) presentando valori generalmente compresi tra 6,5-7,5 (vedi tabelle precedenti D1, D3, D7, D9).

Al perdurare delle precipitazioni si nota in tutti i deposimetri, una sensibile diminuzione di pH come viene illustrato dai grafici.

Occasionalmente nei mesi di ottobre-novembre 1985, di aprile - maggio 1986 e agosto 1986 sono stati riscontrati valori molto bassi di pH (3,5-4). In

queste circostanze si registravano calme di vento o venti di direzione S-SO, con precipitazioni prolungate.

I valori minori sono stati registrati nella stazione D9 (pH 3.4 del 12 aprile 1986) e anche il calcolo medio mensile conferma come quest'area presenti un'acidità superiore a quella delle altre stazioni (vedi tabella e grafici).

Alla luce di questi dati si può concludere che:

I valori di pH quasi costantemente superiori al valore normale potrebbero essere giustificati dall'azione tampone delle polveri sospese nell'atmosfera che vengono dilavate dalle precipitazioni. A conferma di ciò è stato rilevato un generale abbassamento dei valori di acidità al perdurare delle precipitazioni (vedi grafici).

Le punte di inquinamento riscontrate nei mesi di ottobre-novembre '85, aprile-maggio '86 e agosto '86 si possono giustificare come inquinamento antropico.

L'analisi del pH misurato nei deposimetri D1, D3, D7, D9 e l'analisi dei grafici sull'andamento del pH al perdurare della pioggia, ha permesso di evidenziare l'importanza e la necessità di una misurazione continua del pH per tutta la durata della precipitazione. Infatti una misurazione eseguita sulle prime acque cadute induce in errore non rilevando picchi di acidità legati a inquinamento antropico puntiforme e limitato nel tempo.

Come prima conclusione metodologica sembra significativo concludere che né l'acqua raccolta alla fine di ogni precipitazione, né il primissimo evento piovoso danno una reale valutazione sul fenomeno delle piogge acide. In futuro si potrebbe continuare nell'indagine effettuando una registrazione continua del pH durante le precipitazioni.

Poiché la misura del pH è legata principalmente a parametri quali la temperatura e la dissociazione ionica, suscettibili di variazioni nel tempo, le misure sono state soggette non solo ad un errore strumentale (± 0.01 di pH), ma anche ad un errore metodologico dovuto al periodo intercorso tra la raccolta del campione e la misurazione del pH. Tuttavia ciò non altera le considerazioni conclusive poiché nella loro elaborazione sono state valutate tendenze generali e non piccoli scarti di pH.

Il progetto futuro, che prevede la registrazione continua dei valori di pH durante l'intero evento piovoso, ridurrà anche questo margine di errore.

L'indagine biologica ha evidenziato gravi danni alle strutture dei licheni dopo circa sette mesi dalla prima esposizione. Questi danni, come mostra la documentazione fotografica, si presentano come:

- depigmentazione del tallo da grigio-verde a biancastro (vedi fig. 6);
- lesioni microscopiche del tallo depigmentato (fig. 8);
- drastica diminuzione dei gonidi (componente algale) e mutamenti nella struttura delle ife fungine (fig. 10 e fig. 12).

In altre ricerche simili (Bendetta G., 1977a e 1977b; Schenk I., 1977) un tale stato di necrosi è stato riscontrato solo dopo trenta giorni. I dati biologici

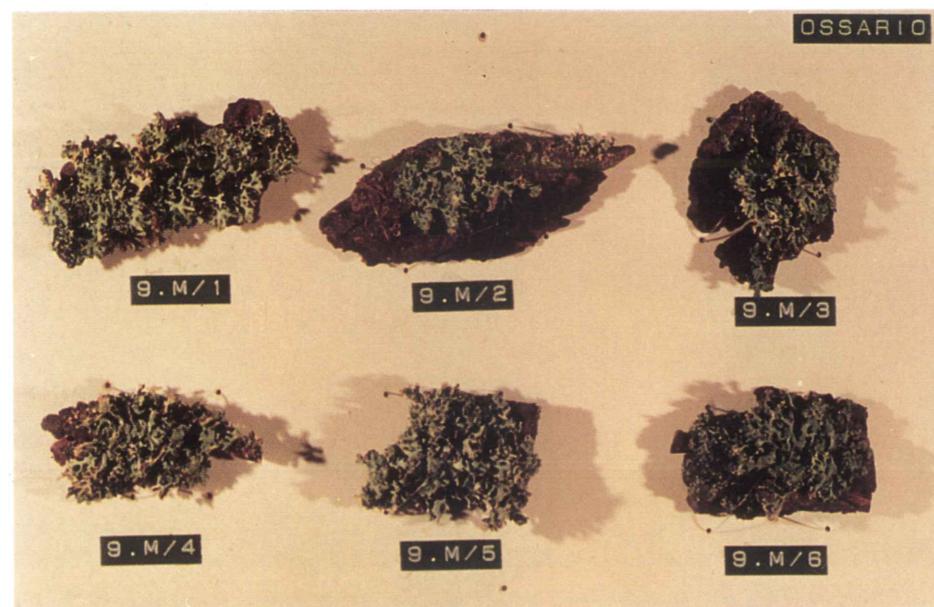


Fig. 4 - Esempio di tavoletta con esplantati di lichene utilizzata per l'esposizione in vari punti della città.

osservati sembrano essere solo parzialmente in armonia con i dati fisico-chimici. Se quindi da una parte si ha un graduale deperimento del tallo lichenico, in armonia con le precipitazioni che solo occasionalmente presentano elevate punte d'acidità, è altrettanto vero che il danno lichenico è disomogeneo da esemplare ad esemplare all'interno della stessa tavoletta. Infatti si osservano, nella stessa stazione, licheni che dopo 182 giorni d'esposizione presentano una percentuale di superficie in necrosi variabile dal 13% al 45% (vedi grafico tavoletta n. 3). Inoltre il minor danno lichenico medio si riscontra nella stazione n. 9 dove si evidenziano anche i massimi picchi d'acidità.

Solo dopo 182 giorni d'esposizione si registrano danni ai licheni simili a quelli riportati per periodi molto più brevi in città come Bolzano e Bressanone.

L'utilizzo del lichene, come indicatore biologico, può trarre quindi in inganno soprattutto quando il suo deperimento è modesto o comunque lento nel tempo. Alcuni autori indicano infatti come causa del -deserto lichenico- l'innalzamento delle temperature e quindi la diminuzione della formazione della rugiada. A tale proposito esistono però dati controversi e per ulteriori approfondimenti rimandiamo a Spampani M., 1982. Inoltre una delle cause del deperimento lichenico potrebbe anche essere lo stesso espianto dal larice.

Il tentativo di quantificare ulteriormente il danno lichenico attraverso l'estrazione della clorofilla e l'analisi spettrofotometrica, ha fornito alcune interessanti indicazioni. Vengono di seguito riassunti i risultati più significativi del



Fig. 5 - Lichene prima dell'esposizione. Si noti la colorazione uniforme del tallo, indice di un buon stato di conservazione.



Fig. 6 - Lichene dopo l'esposizione in ambiente cittadino per 182 giorni. Le parti chiare corrispondono a necrosi del tallo.

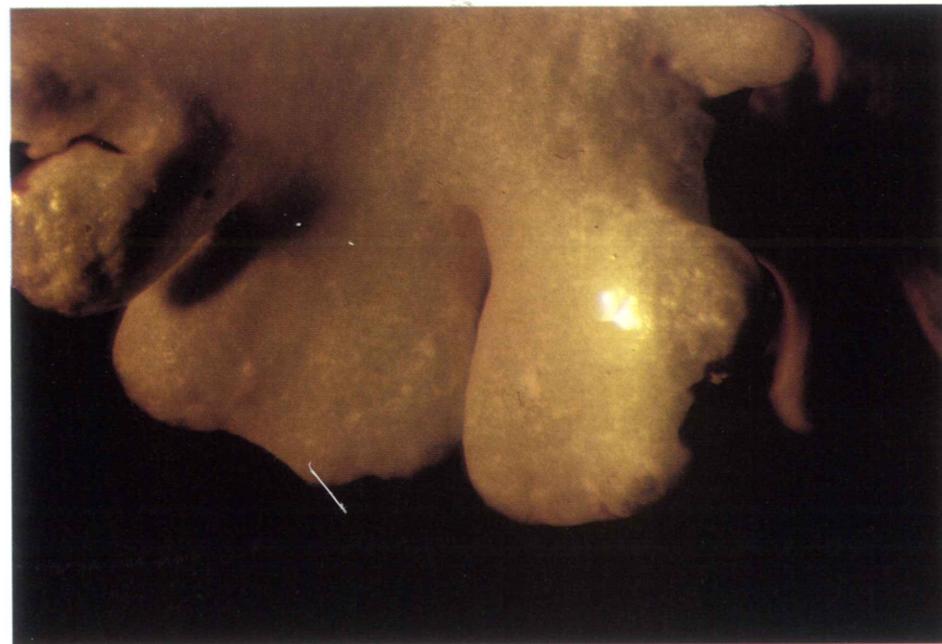


Fig. 7 - Fotografia allo stereomicroscopio (x16) di lichene prima dell'esposizione. La colorazione è uniforme e la superficie non rileva lesioni.



Fig. 8 - Fotografia allo stereomicroscopio (x16) di lichene dopo l'esposizione in ambiente cittadino per 182 giorni. Le lesioni e la depigmentazione del tallo sono evidenti.

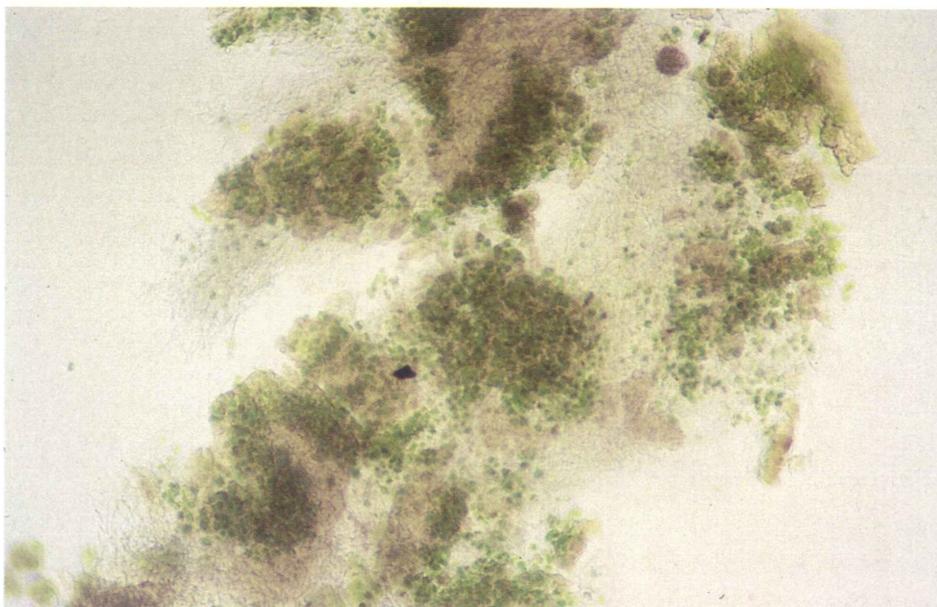


Fig. 9 - Microfotografia del tallo ottenuto per schiacciamento (x40). Si notano le cellule dell'alga verde numerose e distribuite nell'intreccio di ife fungine.



Fig. 11 - Sezione trasversale del tallo prima dell'esposizione (ingrandimento: x400). Nel lichene sano la componente algale (gonidi) è presente in abbondante quantità e racchiusa tra due strati di ife fungine.

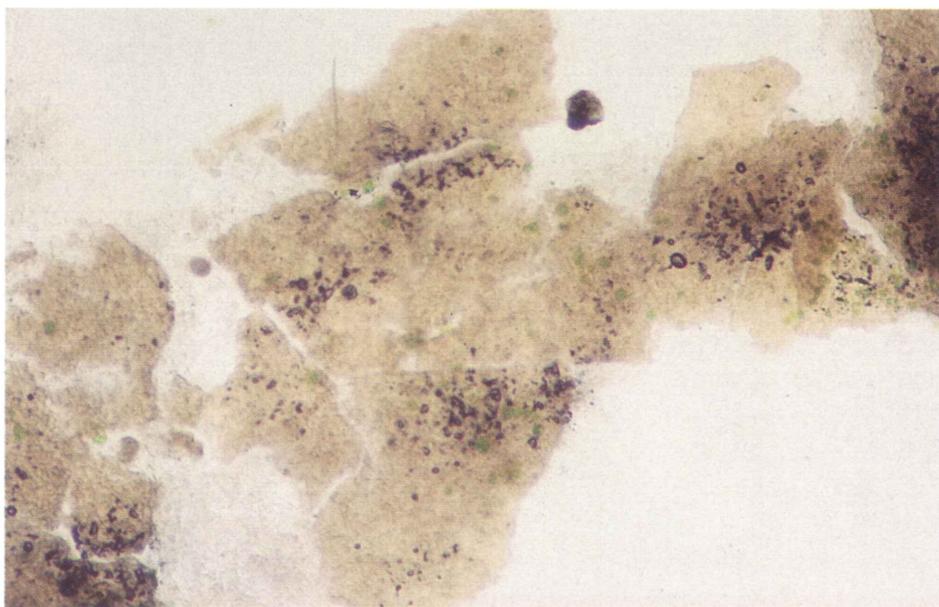


Fig. 10 - Microfotografia del tallo ottenuto per schiacciamento (x40) dopo l'esposizione in ambiente cittadino per 182 giorni.

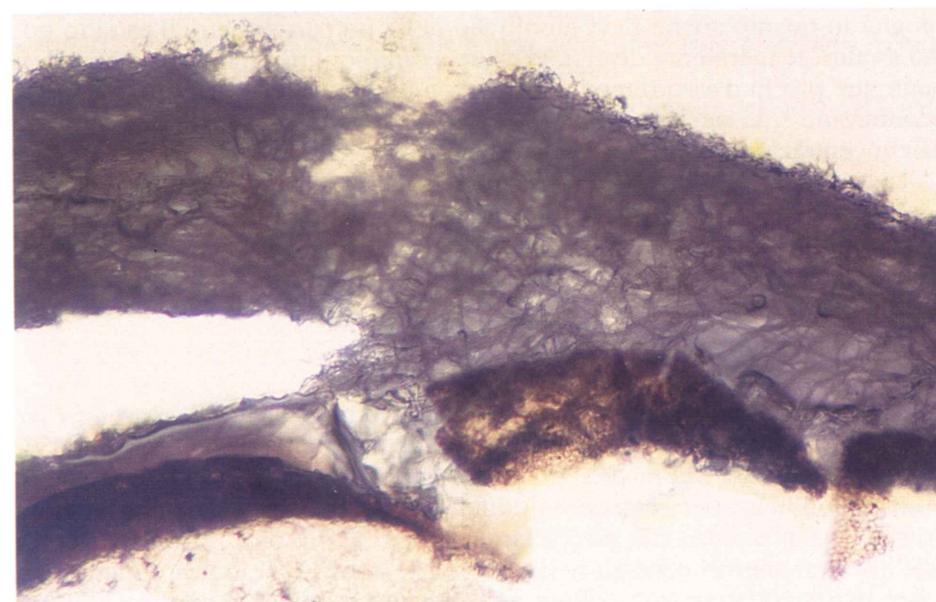


Fig. 12 - Sezione trasversale del tallo dopo l'esposizione in ambiente cittadino per 182 giorni (ingrandimento: x400). I gonidi sono quasi scomparsi e quindi il lichene è danneggiato irreversibilmente.

confronto tra le curve d'estinzione dei due estratti (lichene esposto in città e lichene proveniente da zone montane) pur nella consapevolezza che tali osservazioni necessitano di ulteriore approfondimento e studio.

Picchi di assorbimento. Dalle letture bibliografiche risulta che le clorofille A, B, C, presentano massimo assorbimento a tre lunghezze d'onda distinte (630, 645, 663 nmetri); i nostri dati, eseguiti più volte e a diversa concentrazione della soluzione, confermano la presenza di tali picchi, anche se la banda a 630 nmetri risulta spostata verso una lunghezza d'onda inferiore (610 nmetri), mentre quella a 645 nmetri non può essere facilmente distinta dalla banda a 665 nmetri (vedi grafici allegati).

Curve di estinzione analoghe. I grafici ricavati dai dati relativi alle analisi degli estratti non evidenziano differenze sostanziali. L'ipotesi di lavoro prevede che alla rarefazione dei gonidi (componente algale) osservata a livello microscopico, corrisponda una diminuzione di clorofilla. Ciò dovrebbe portare ad una curva con valori di assorbimento meno pronunciati rispetto a quelli ottenuti da un estratto di licheni sani. A questo punto si può pensare che la clorofilla non sia l'unico prodotto dell'estrazione e quindi esistono altri componenti che influenzano in modo rilevante l'assorbimento, oppure le parti in necrosi non sono quantitativamente tali da poter essere evidenziate tramite un'analisi spettrofotometrica. Nell'estratto infatti non sono presenti solo parti depigmentate (in necrosi), ma anche altre parti del tallo che sono più verdi e quindi meno danneggiate.

Valori diversi di assorbanza in relazione al grado di frantumazione dei licheni. Questa osservazione evidenzia la presenza di notevoli problemi metodologici in quanto anche lievi modifiche nella preparazione dell'estratto portano a valori leggermente diversi. Per tutti i campioni misurati sono stati trovati comunque picchi d'assorbimento alle stesse lunghezze d'onda; le variazioni si riscontrano solo nei valori dell'assorbanza, che aumenta proporzionalmente alla concentrazione del preparato da esaminare.

La complessità delle problematiche evidenziate nel corso di questa ricerca non permette di trarre indicazioni definitive dai dati ottenuti prima d'aver approfondito ulteriormente le diverse vie di lavoro che abbiamo tracciato.

RINGRAZIAMENTI

Desideriamo ringraziare la direzione del Museo Civico di Rovereto per averci offerto l'opportunità di eseguire tale ricerca e per la disponibilità con cui ha seguito ogni fase del lavoro. Un particolare ringraziamento lo dobbiamo al dott. Franco Finotti per l'assistenza durante le fasi della ricerca e per la lettura critica del manoscritto, alla prof. Clara Samuelli e alla prof. Patrizia Costa De Angeli per i numerosi consigli nella stesura della parte biologica. Ringraziamo inoltre per la collaborazione offerta il Liceo Scientifico «A. Rosmini», l'Istituto Professionale Industria e Artigianato, l'Azienda Servizi Municipalizzati del Comune di Rovereto, l'Osservatorio Meteorologico del Convento Franciscano di S. Rocco in Rovereto e lo Studio Fotografico Furlini.

BIBLIOGRAFIA

- AMANDOLA G., TERRENI V., 1977 - Analisi spettrale in assorbimento, (par. 2). *Analisi chimica strumentale e tecnica*, Masson Italia Editore, pp. 12-31, Milano.
- BENDETTA G., 1977a - Inquinamento atmosferico e vegetazione. *Studi e ricerche* a cura dell'Assessorato Tutela dell'Ambiente, pp. 9-43, Bolzano.
- BENDETTA G., 1977b - Diffusione dei licheni naturali nella conca di Merano. *Studi e ricerche* a cura dell'Assessorato Tutela dell'Ambiente, pp. 45-48, Bolzano.
- CANIGLIA G., DRUDI C., 1984 - Considerazioni sulla distribuzione dei licheni in laguna di Venezia. *Rendiconti del Seminario della Facoltà di Scienze dell'Università di Cagliari*, suppl. al. vol. LIV, pp. 197-213, Bologna.
- CANIGLIA G., GIULINI P., SPAMPANI M., 1978 - Inquinamento atmosferico e licheni. *Atti Conv. Ecol. Prealpi Orientali*, pp. 279-293, Pian Cansiglio.
- LIKENS G.E. - WRIGHT R.F., GALLOWAY J.N., BUTLER T.J., 1979 - Piogge acide. *Le Scienze*, (136): 14-24, Milano.
- NIMIS P.L. e LOI E., 1981 - I licheni epifiti della Provincia di Trieste. *Atti del museo friulano di storia naturale*, 3:101-122, Udine.
- OZENDA P. e CLAUZADE G., 1970 - Ecologie des lichens. *Les lichens*, Masson et C., Editeurs, pp. 103-109, Paris.
- PERIN G., BETTINI A., MARCUZZI M., 1985 - Indagine sulla qualità ambientale del territorio comunale. *A cura del Comune di Rovereto* (lavoro inedito), pp. 277, Rovereto.
- PEZZETTA A., 1984 - I licheni come indicatori dell'inquinamento. *Didattica delle scienze*, La Scuola, pp. 40-42, Brescia.
- SCHENK I., 1977 - Distribuzione dei licheni a Bressanone. *Studi e ricerche* a cura dell'Assessorato Tutela e Ambiente, pp. 49-54, Bolzano.
- SORLINI C., 1986 - Effetti ambientali delle piogge acide. *Ambiente: protezione e risanamento*, (2), Pitagora Editrice, pp. 273-287, Bologna.
- SPAMPANI M., 1982 - I licheni: indicatori fisiologici della qualità dell'aria. *Le Scienze*, (167): 60-69, Milano.

Indirizzi degli autori:

Roberto Zorer: Viale Trento, 2 - 38068 Rovereto (Trento)
Marco Matassoni: Via Pasubio, 32 - 38068 Rovereto (Trento)