

I LICHENI ENDOLITICI CALCICOLI SU MONUMENTI

P.L. NIMIS, L. ZAPPA

Keywords: Endolithic, Lichens, Limestone, Monuments.

Abstract: ENDOLITHIC LICHENS ON LIMESTONE MONUMENTS - This paper briefly illustrates the main features of endolithic lichens growing on limestone, with particular regard to some species which have been found growing on monuments. The action of endolithic lichens on stone is also discussed, with some remarks on the possible harmful effects of the application of biocides to remove endolithic lichens from monuments.

Introduzione

Gli operatori che si occupano della manutenzione e del restauro di monumenti in pietra calcarea tendono spesso a fissare l'attenzione sui licheni epilittici nitrofilo. Il motivo è che queste forme sono molto evidenti e spesso vivacemente colorate, per cui determinano una forte alterazione cromatica delle superfici litiche. Tra le specie più appariscenti si possono annoverare *Xanthoria calcicola*, *Candelariella medians*, *Caloplaca citrina*, *C. flavescens*, *C. aurantia*, etc.

Esiste però un secondo gruppo di licheni calcicoli, il cui tallo è profondamente infossato nella roccia: si tratta dei licheni cosiddetti "endolitici", in genere molto meno vistosi di quelli epilittici, anche perché il colore del tallo è spesso simile a quello del substrato. Questi organismi appartengono in gran parte ai licheni pirenocarpi, a quelli cioè il cui corpo fruttifero è un peritecio; i generi più frequenti su monumenti sono *Bagliettoa*, *Verrucaria*, *Porina* ed *Acrocordia*. Esistono comunque anche licheni endolitici discocarpi, quali *Rinodina immersa*, alcune *Protoblastenia*, *Clauzadea*, *Caloplaca* etc.

In genere questi licheni sono non o poco nitrofilo e relativamente sciafilo. Per questo motivo occupano spesso le parti basali dei monumenti con esposizione a settentrione. Rispetto ai licheni epilittici nitrofilo quelli endolitici hanno esigenze ecologiche più ristrette, essendo più frequenti su calcari porosi quali il travertino, molto più rari su rocce carbonatiche dure e a grana cristallina quali il marmo.

Tra i licheni crostosi epilittici e quelli endolitici il passaggio non è sempre netto:

esistono forme a tallo parzialmente endolitico (licheni emiendolitici), in cui il tessuto pseudocorticale e lo strato gonidiale sono siti sopra la superficie litica, mentre esiste una zona rizoidale, costituita da ife fungine, che penetra più o meno profondamente nella roccia.

Gli studi effettuati da Giacobini et al. (1979, 1987) hanno dimostrato come il trattamento con biocidi di superfici litiche attaccate da licheni non sempre permette di ottenere risultati soddisfacenti; in particolare, i talli endolitici sono i più refrattari al trattamento. A questo va aggiunto che l'asporto di licheni endolitici con mezzi puramente meccanici è in genere di difficile attuazione, in quanto comporta l'abrasione dello strato superficiale della roccia permeato dalle ife del lichene. Per questo motivo il trattamento a scopo restaurativo-conservativo di superfici litiche attaccate da licheni endolitici risulta particolarmente problematico.

Lo scopo di questo lavoro è duplice: da un lato si vuole fornire una prima base di informazioni utili ad orientare gli operatori del settore nel trattamento di monumenti attaccati da licheni endolitici calcicoli, dall'altro si intendono sottolineare una serie di problemi aperti che richiedono ulteriori ricerche di base.

Materiali e metodi

Per illustrare questo lavoro sono stati analizzati campioni di tre specie di licheni endolitici calcicoli: *Bagliettoa parmigerella*, *Bagliettoa parmigera* e *Caloplaca ochracea*, quest'ultima probabilmente ha tallo emiendolitico.

Ciascun campione è stato sottoposto a tre diverse indagini:

1 - Osservazione al microscopio stereoscopico di frammenti calcarei ricoperti da licheni.

2 - Osservazione al microscopio metallografico.

I frammenti di roccia sono stati preventivamente inclusi in resina e successivamente levigati in modo da ottenere una superficie perfettamente piana con il lichene in sezione trasversale. Questa tecnica consente di valutare la posizione del tessuto pseudocorticale e dello strato algale rispetto alla superficie della pietra, la profondità cui possono arrivare le ife fungine e la loro organizzazione reale all'interno della roccia.

3 - Osservazione al microscopio ottico di talli decalcificati.

La preparazione di sezioni sottili di talli endolitici è praticamente impossibile se non si allontana tutto il substrato calcareo in cui è immerso il lichene. Nel caso specifico è stata usata una soluzione al 3% di HCl (Fry, 1922) in cui sono stati immersi i frammenti calcarei. Terminata la decalcificazione i talli sono stati fissati ed inclusi in una resina idrosolubile e quindi sono state fatte sezioni sottili di 5-7 micron. Per aumentare il contrasto le sezioni sono state trattate con coloranti specifici (Blu di toluidina, Violetto cresile e colorazione PAS positiva).

Struttura del tallo dei licheni endolitici calcicoli

La morfologia dei licheni endolitici è stata oggetto di un dettagliato studio da

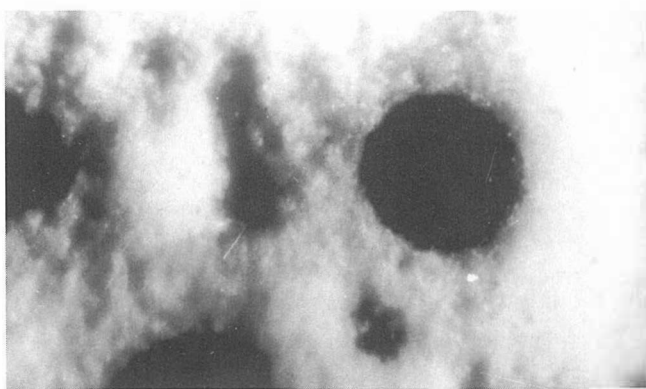


Foto 1 - Periteci di *Bagliettoa parmigera*, ingrandimento 85 X.

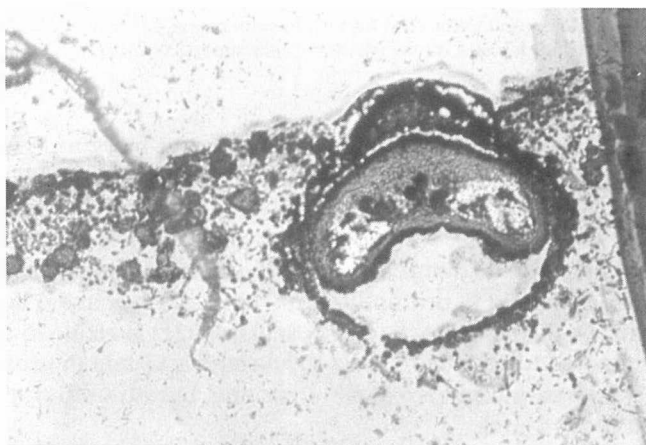


Foto 2 - Peritecio di *Bagliettoa parmigerella*, ingrandimento 400 X.

Sezione sottile di tallo decalcificato, colorata con violetto cresile.

Ben visibile la struttura del tallo lichenico, con le ife più fitte nella parte superficiale, lo strato algale costituito da piccoli grappoli di alghe unicellulari e un reticolo lasso di ife nella parte inferiore. Il peritecio maturo protrude verso l'esterno con la parte apicale in cui si apre l'ostiolo.

parte di Fry (1922), cui si rimanda per ulteriori dettagli.

In questi licheni il tallo, compreso lo strato algale, è completamente immerso nella roccia. In una sezione trasversale del tallo è visibile un addensamento delle ife nella parte superficiale della roccia, sotto al quale è localizzato lo strato algale. Al di sotto dello strato algale le ife si fanno più rade a costituire un reticolo lasso che corrisponde topologicamente alla medulla dei licheni crostosi epilittici. Nelle

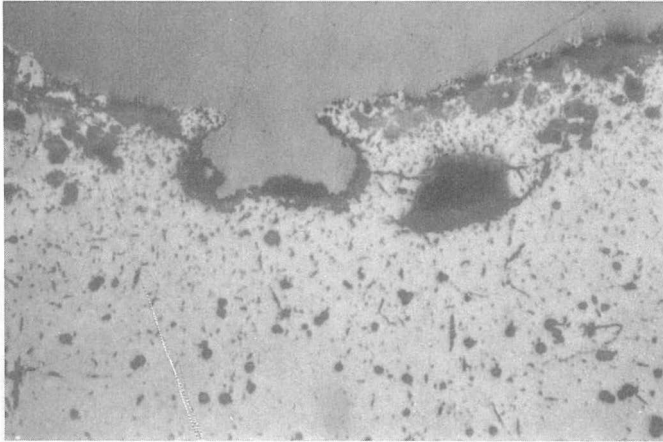


Foto 3 - Peritecio di *Bagliettoa parmigerella*, ingrandimento 400 X. Fotografia al microscopio metallografico di tallo lichenico provvisto di substrato. Ben visibili lo strato algale in prossimità della superficie della roccia, un peritecio in formazione all'interno della roccia e la cavità lasciata da un peritecio sulla superficie litica.

parti dei talli in cui la crescita è più intensa, e cioè al margine e nella porzione più profonda, appaiono numerose ife a cellule rigonfie, e piene di una sostanza oleosa. Secondo Fry (1922) questa sarebbe un prodotto di rifiuto formatosi in condizioni di basso tenore di azoto, forti concentrazioni di carbonato di calcio e di anidride carbonica derivante dagli intensi processi di respirazione legati alla crescita.

Il grado di penetrazione in profondità dipende dalla specie del lichene, dall'età del tallo e dal tipo di substrato. Secondo Smith (1921) le rizine di alcuni licheni calcicoli epilittici possono penetrare nella roccia sino a 15 mm di profondità, mentre Syers (1964) riporta uno spettro di penetrazione, basato sullo studio di più specie, che va da 0.3 a 16 mm.

I corpi fruttiferi del fungo (periteci) si originano anch'essi all'interno della roccia (Fig. 1; Fig. 2), da cui protrudono, a maturità, per la parte apicale. Essi formano quindi un incavo che, alla caduta del corpo fruttifero, appare come una profonda depressione (Fig. 3). La cavità può essere rapidamente occupata da uno strato pseudocorticale e gonidiale (Fry, 1922), oppure dalla ricristallizzazione di carbonato di calcio proveniente dalle acque dilavanti.

La superficie dei talli endolitici presenta una caratteristica micromorfologia: da un lato essa appare crivellata dalle depressioni prodotte dai periteci (Fig. 4), dall'altro, nelle zone di contatto tra diversi talli, appartenenti alla stessa o a più specie, è a volte evidente una rete di piccoli solchi che separano le porzioni centrali, sollevate, dei talli (Fig. 5). In casi estremi questo reticolo fa assumere alla superficie della roccia un caratteristico aspetto a "mosaico". Non è ancora chiaro quali siano le cause che determinano la formazione della struttura a mosaico. Un'i-

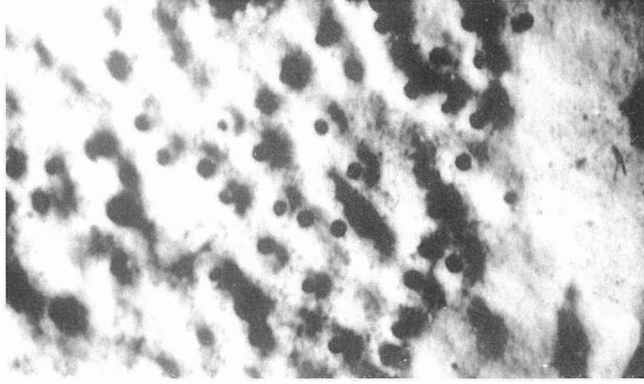


Foto 4 - *Bagliettoa parmigera*, ingrandimento 25 X.
Depressioni prodotte da periteci sulla superficie litica.

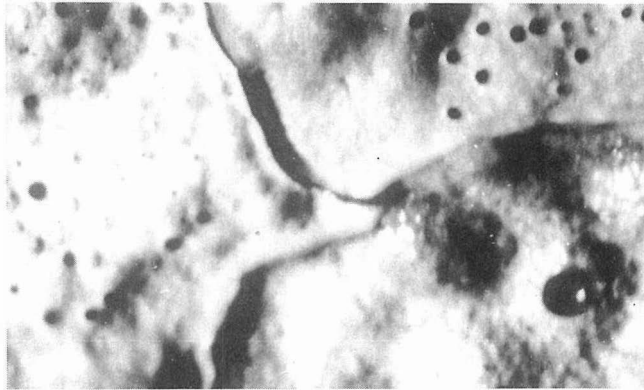


Foto 5 - *Bagliettoa parmigera*: mosaico di talli endolitici, ingrandimento 25 X. Microsolchi, spesso soggetti a fenomeni di microcarsismo, nelle zone di contatto tra talli diversi.

potesi, da sottoporre a verifica, sarebbe che nelle parti periferiche dei talli, dove lo strato gonidiale è assente e lo strato pseudocorticale molto sottile, si impostino dei fenomeni di microcarsismo tendenti alla dissoluzione della roccia; si formerebbe quindi un microreticolo idrografico, tendente ad approfondirsi; le parti centrali del tallo, protette dal tessuto pseudocorticale e dallo strato gonidiale, sarebbero invece meno soggette a fenomeni di microcarsismo, e questo spiegherebbe il fatto che esse appaiono rilevate rispetto alle parti marginali. Se questa ipotesi si rivelasse corretta, essa confermerebbe le affermazioni di Smith (1962) e di Lallemant & Deruelle (1978) secondo cui alcuni licheni eserciterebbero addirittura una funzione di protezione contro gli agenti fisico-chimici delle superfici litiche sottostanti.

Meccanismi di alterazione delle rocce carbonatiche

L'insediamento di organismi su materiale lapideo avviene solo dopo che questo ha già subito un processo di alterazione dovuto all'esposizione agli agenti atmosferici. La fenomenologia di attacco e i meccanismi di alterazione sono funzione del tipo di substrato, delle condizioni ambientali in cui il manufatto si trova e dello stato di conservazione delle sue superfici. I licheni che si insediano sulle superfici molto porose o comunque già deteriorate esercitano un'azione dannosa sia di tipo meccanico che di tipo chimico, ed è evidente che simili fenomeni degenerativi sono particolarmente distruttivi se il substrato è rappresentato da monumenti.

L'azione aggressiva di tipo meccanico è dovuta a due fattori: la penetrazione delle ife fungine nelle microfessure della roccia e le espansioni e contrazioni del tallo corrispondenti a diversi stati di idratazione (Lindsay, 1856; Smith, 1921; Fry, 1922, 1924, 1927; Perez-Llano, 1944; Levin, 1949). In questo modo sulle pareti delle fessure si creano degli sforzi tensoriali che inducono lo sfaldamento delle superfici litiche. È probabile che l'alterazione meccanica prodotta dai licheni non sia successiva all'alterazione biochimica, ma piuttosto si tratti di una fase preliminare in quanto le ife che si introducono nelle fessure della roccia e vi si concentrano possono rilasciare soluzioni chimiche corrosive (Fry, 1924).

L'alterazione chimica invece è molto più grave di quella meccanica perché le sostanze rilasciate dalle ife sono responsabili della solubilizzazione, per una profondità di qualche millimetro, dei minerali che costituiscono il substrato. Questa azione solubilizzatrice provoca un aumento della porosità della roccia e quindi l'esposizione ad altri agenti inquinanti di superfici più ampie.

I principali responsabili dell'aggressione chimica sembrano essere gli acidi lichenici, l'anidride carbonica e l'acido ossalico.

Gli acidi lichenici sono sostanze scarsamente solubili in acqua, riconosciuti come agenti chelanti. La reazione di queste sostanze con i minerali inclusi nella roccia e la formazione di complessi insolubili (Iskandar & Syers, 1971), non sembra però essere particolarmente importante nella dissoluzione del calcare (William & Rudolph, 1974).

L'anidride carbonica derivante dalla respirazione è parzialmente responsabile della alterazione della roccia nelle vicinanze del lichene (Fry, 1922). Il biossido di carbonio si scioglie in acqua e viene trattenuto nelle fessure e nei pori della roccia. La presenza di acido carbonico determina una maggior solubilità del calcare e la formazione di bicarbonati solubili che possono essere dilavati, o ricristallizzare nuovamente in carbonato di calcio e formare delle incrostazioni.

La grande quantità di cristalli di ossalati osservati attorno alle ife e sui talli di licheni sassicoli (Smith, 1921), fece pensare che il lichene producesse l'acido ossalico. In effetti è stato dimostrato che è il fungo a produrre l'acido ossalico (Syers & Iskandar, 1973; Jones et al. 1980; Wilson et al. 1981) in quanto la dissoluzione della roccia osservata sulla superficie di contatto con il tallo lichenico è analoga a quella che si ottiene simulando un'aggressione in vitro delle rocce con acido os-

salico (Ascaso et al., 1982).

Misure di intervento

I risultati poco soddisfacenti ottenuti da Giacobini et al. (1979, 1987) nel trattamento di superfici litiche attaccate da licheni endolitici con biocidi derivano probabilmente dal fatto che la maggior parte dei talli lichenici è costituita da ife fungine a parete composta da una sostanza chitinosimile. La chitina, un composto generalmente raro nel regno vegetale, molto più frequente in quello animale (è il principale costituente dell'esoscheletro degli artropodi), viene decomposta molto difficilmente. Uno dei pochi organismi in grado di decomporre la chitina è il *Bacillus chitinophilus*, un batterio che vive di norma nel suolo. L'applicazione di biocidi determina la morte delle alghe simbiotiche e generalmente anche delle cellule fungine. Nei licheni crostosi epilittici ciò si traduce in una perdita di consistenza del tallo, che inizia a frammentarsi e a volte anche a staccarsi dal substrato per cause fisiche. Un trattamento di questo tipo, in tale caso, può soltanto facilitare l'asporto meccanico dei talli lichenici. Tuttavia, quest'ultimo non presenta di norma particolari difficoltà nel caso di licheni epilittici. A nostro parere, un pretrattamento con biocidi sarebbe consigliabile soltanto nel caso si volessero asportare licheni epilittici riproducendosi per via vegetativa: in tale modo verrebbe eliminata una grande quantità di propaguli (soredi od isidi), il che potrebbe costituire un intervento di tipo preventivo contro la ricolonizzazione del substrato (Nimis et al., 1987). Nel caso di licheni nitrofilici, che hanno crescita piuttosto rapida, sarebbe anche importante associare all'azione distruttiva degli interventi preventivi, atti ad abolire le cause dell'eutrofizzazione.

Nel caso invece dei licheni endolitici, il trattamento con biocidi, pur determinando la morte di alghe e funghi, non si traduce in risultati evidenti a breve termine in quanto le ife fungine, di difficile decomposizione, permangono lungamente nella roccia. La morte e decomposizione delle cellule algali determina la formazione di uno strato permeabile all'acqua al di sotto della porzione pseudocorticale, che comunque si mantiene a lungo in quanto costituita da ife fungine. La degenerazione del tallo lichenico procede con la desquamazione dello strato pseudocorticale, che si stacca a piccole scaglie, lasciando libera una superficie a struttura spugnosa sottostante a quello che era lo strato gonidiale. Il risultato è che un tale tipo di intervento determina l'esposizione di una superficie litica molto più soggetta all'attacco da parte di agenti atmosferici (fenomeni di microcarsismo, assorbimento di inquinanti etc.) di quanto non avvenisse in presenza di un tallo lichenico vivo. La velocità di questi processi non è nota, ma è presumibile che sia piuttosto lenta. A Lucus Feroniae, nei dintorni di Roma, abbiamo osservato la desquamazione di talli endolitici morti crescenti su colonne che erano state a lungo interrate. La composizione chimica delle sottili scaglie mostrava una forte concentrazione di ossalati. L'aspetto macroscopico e le caratteristiche fisiche delle scaglie stesse ricordavano fortemente le patine riscontrate su diversi manufatti di epoca romana, quali ad esempio la Colonna Traiana. Non è da escludere che tali pa-

tine siano, almeno in parte, anche di origine biologica, e rappresentino vecchi talli di licheni endolitici in via di desquamazione, anche tenendo conto del fatto che molti manufatti litici dei Fori Romani sono a tutt'oggi ricoperti, almeno alla base, da specie endolitiche. Questa ipotesi andrebbe comunque verificata con uno studio ad hoc.

Conclusioni

Dalle considerazioni esposte sopra si può concludere che il trattamento di superfici litiche attaccate da licheni endolitici a scopo restaurativo/conservativo risulta particolarmente difficile, e sconsigliabile nella maggior parte dei casi. Un trattamento con biocidi determina l'esposizione di una superficie porosa, facilmente aggredibile da agenti fisico-chimici o biologici. L'asporto meccanico, per la natura stessa dei talli endolitici, comporta inevitabilmente l'abrasione di uno strato superficiale di spessore variabile.

In particolare, nel trattamento chimico o meccanico di manufatti parzialmente ricoperti da licheni epilittici, si dovrà prestare la massima attenzione alla presenza, su parti del manufatto, di eventuali forme endolitiche, per evitare effetti collaterali non desiderati.

Fortunatamente, le forme licheniche calcicole a tallo endolitico non determinano, in generale, una forte alterazione cromatica della roccia, e quindi il loro asporto andrebbe limitato soltanto ad alcuni casi altamente specifici.

Riassunto. I licheni endolitici comprendono sia forme pirenocarpe che forme discocarpe; le prime sono molto più frequenti su substrato calcareo. Nei licheni endolitici calcicoli il tallo si trova completamente infossato all'interno della roccia, ed è costituito da uno strato pseudocorticale superficiale, da uno strato gonidiale contenente le alghe, e da uno strato, ad esso sottostante, formato da ife a tessitura lassa. La formazione dei corpi fruttiferi, che sono parzialmente o totalmente immersi nella roccia, determina fenomeni di "pitting", particolarmente evidenti in talune specie. Gli interventi di asporto dei licheni endolitici calcicoli a scopo restaurativo-conservativo sono particolarmente difficili. Il motivo principale è dato dal fatto che la decomposizione delle ife fungine è molto più lenta di quella delle cellule algali: si determina quindi la formazione di uno spazio vuoto, un tempo occupato dallo strato gonidiale, disposto sotto la parte pseudocorticale morta e non ancora decomposta. Tale spazio può venir invaso dall'acqua, e ciò può determinare, soprattutto nei mesi più freddi, la desquamazione dello strato superficiale. In questo modo viene esposta all'aria una superficie fortemente porosa, che si presta facilmente ad attacchi da parte degli agenti atmosferici o di sostanze inquinanti.

Bibliografia

- Ascaso C., Galvan J. & C. Rodriguez Pascual, 1982. *The weathering of calcareous rocks by lichens*. *Pedobiologia* 24: 219-229.
- Fry E.J., 1922. *Some types of endolithic lichens*. *Ann. Bot. London* 36: 541-562.
- Fry E.J., 1924. *A suggested explanation of the mechanical action of lithophytic lichens on rocks (shale)*. *Ann. Bot. London* 38: 175-196.
- Fry E.J., 1927. *The mechanical action of crustaceous lichens on substrata of shale, schist, gneiss, limestone and obsidian*. *Ann. Bot. London* 41: 437-460.
- Giacobini C., Bettini C. & A. Villa, 1979. *Il controllo dei licheni, alghe e muschi*. 3° Congr. Int. Deterioramento e Conservazione della Pietra, Venezia: 305-312.
- Iskandar I.K. & I.K. Syers, 1971. *Solubility of lichen compounds in water: pedogenetic implications*. *Lichenologist* 5: 45-50.
- Lallermant R. & S. Deruelle, 1978. *Présence des lichens sur les monuments en pierre: nuisance ou protection?* UNESCO-Rilem, Internat. Symp. on Deterioration and Protection of Stone Monuments, Paris.
- Levin F.M., 1949. *The role of lichens in the weathering of limestone and diorites*. *Vertin., Mosk., Gos., Univ.* 9: 149-159.
- Lindsay W.L., 1856. *A popular history of British lichens*. Lovell Ree, London.
- Jones D., Wilson M.J. & M.J. Tait, 1980. *Weathering of a basalt by *Pertusaria corallina**. *Lichenologist* 12: 277-289.
- Nimis P.L., Monte M. & M. Tretiach, 1987. *Flora e vegetazione lichenica di aree archeologiche del Lazio*. *Studia Geobotanica*, 7: 3-161.
- Perez-Llano G.A., 1944. *Lichens: their biological and economical significance*. *Botanical Review* 10: 2-65.
- Smith A.L., 1921. *Lichens*. Cambridge Univ. Press. London and New York.
- Syers J.K., 1964. *A study of soil formation on carboniferous limestone with particular reference to lichens as pedogenetic agents*. Ph. D. Thesis. University of Durham. England.
- Syers J.K. & I.K. Iskandar, 1973. *Pedogenetic significance of lichens*. The Lichens (Ahmadjian V. & M.E. Hale) 225-248. Academic Press, New York.
- Williams M.E. & Rudolph, 1974. *The role of lichens and associated fungi in the chemical weathering of rock*. *Micologia*, 66: 648-660.
- Wilson M.J. & W.J. Mc Hardy, 1981. *The weathering of Serpentinite by *Lecanora atra**. *Lichenologist*, 18: 167-176.

Author's Address

Prof. P.L. Nimis
Dr.ssa L. Zappa
Dipartimento di Biologia
Università di Trieste
Via A. Valerio 32 I 34127 Trieste