

AZIONE DELLE CRESCITA DEI LICHENI SULLA PIETRA NELL'AREA ARCHEOLOGICA DI FIESOLE

P. PALLECCHI e D. PINNA

Keywords: Archaeological area, Fiesole, Italy, Lichens, Stone alteration.

Abstract. The archaeological area in Fiesole, where a local sandstone (Pietra Serena) was mainly used, was taken into consideration with the purpose of investigating the mechanical and chemical alteration possibly due to lichen growth.

The taxonomic data allowed identification of almost 40 species. Distribution data allowed definition and localization of the most frequent species, therefore permitting a choice of those to be taken into consideration in relation to their effect on the stone. Observation of stone specimens under optical and scanning electron microscopes showed the morphology of mechanical alterations caused by the growth of some lichen species. The map of distribution of calcium determined by analysis carried out under SEM equipped with an energy dispersive X-ray spectrometer (EDS) showed that some species cause modification of the mineralogical stone composition. Moreover, analyses by X-ray diffractometry, in connection with the above results, allow the identification of the production of calcium oxalate due to the growth of some species.

Introduzione

Il deterioramento della pietra ad opera dei licheni è stato studiato finora in modo piuttosto frammentario.

È noto che molte specie licheniche possono essere causa di danni di tipo meccanico dovuti alla penetrazione del tallo in profondità ed alle espansioni e contrazioni che esso subisce in funzione delle variazioni climatiche (Fry, 1927). Secondo Ozenda e Clauzade (1970) tali danni non sarebbero però molto seri data la lenta crescita di questi vegetali.

È stato oggetto di studio anche il deterioramento chimico della pietra causata dai licheni, più precisamente dagli acidi (prodotti del loro metabolismo) che possono complessare elementi chimici contenuti nella roccia (Schatz, 1963; Iskandar e Syers, 1972; Ascaso et al, 1976; Purvis et al, 1987; Lounamaa, 1965). Tuttavia alcuni autori ritengono che, nei casi in cui la crescita dei licheni sia limitata, questi vegetali possono formare un rivestimento protettivo efficace a limitare l'azione di altri agenti di degrado (Lallement et Deruelle, 1978).

Nell'ambito della problematica sopra esposta abbiamo scelto come oggetto di

studio i monumenti dell'area archeologica di Fiesole, che appaiono estesamente ricoperti di licheni. I risultati ottenuti sono oggetto di questa nota.

L'indagine è stata limitata alle specie più frequenti e si poneva lo scopo di valutare i danni meccanici e chimici da esse eventualmente provocati nei vari substrati lapidei qui presenti: Pietra Serena, marmo, laterizi e anche intonaci.

Descrizione dell'area archeologica

L'area archeologica di Fiesole include tre strutture monumentali distribuite su una superficie piuttosto vasta: il Tempio Etrusco (III sec. A.C.), le Terme e il Teatro Romano (entrambi del I sec. A.C.). I monumenti sono stati scavati in tempi diversi ma, agli inizi di questo secolo, l'area archeologica corrispondeva a grandi linee a quella attuale (Caputo e Maetzke, 1959).

Essa è situata nella valle del fiume Mugnone, in un ambiente seminaturale collinare con poche case sparse e limitata a Sud dall'abitato di Fiesole.

Tutti i tre monumenti fiesolani sono stati oggetto della nostra indagine volta a definire il deterioramento dei materiali lapidei causato dalla crescita di licheni. I risultati relativi al Teatro Romano sono già stati pubblicati (Pallecchi e Pinna, 1988). La presente nota riguarda il Tempio Etrusco e le Terme Romane. Tali strutture monumentali sono entrambe costruite con blocchi squadrati di arenaria locale ("Pietra Serena"), una grovacca feldspatica a matrice argillosa con scarsa calcite (valore medio 7%) interstiziale e solo raramente spatca (Malesani e Vannucci, 1974).

La stessa Pietra Serena è stata utilizzata per strutture di recente costruzione, elevate nel corso dei restauri del 1953.

Nelle Terme oltre alla Pietra Serena, vi sono strutture in laterizio, solo in parte originarie; tra queste ultime, quelle del Frigidarium e quelle delle Sospensurae del Calidarium (Fig. 1) (costruite con mattoni ottagonali).

Oltre a mattoni e Pietra Serena, i materiali presenti nell'area considerata, e quindi presi in considerazione in relazione al fenomeno della crescita lichenica, sono il marmo cristallino con cui sono rivestiti due basamenti di Pietra Serena accanto al Tempio e poi gli intonaci, quelli a calce, originali, ancora estesamente presenti e quelli a cemento dei rifacimento del 1953 (Bellini Delle Stelle et al, 1984).

Procedimenti sperimentali

I campioni di licheni sono stati prelevati nell'area in esame annotando contemporaneamente sia il tipo di substrato che eventuali differenze, quali esposizione, entità della copertura lichenica, ecc., che caratterizzavano la zona di prelievo. Le specie licheniche sono state identificate con le metodologie standard. I risultati, in relazione al tipo di substrato, sono riportati in Tabella 1.

Per lo studio degli effetti della crescita dei licheni sul substrato, sono state prese in considerazione alcune delle specie risultate più diffuse sulle strutture originarie: *Aspicilia hoffmannii*, *Diploschistes actinostomus*, *Pertusaria amara*,

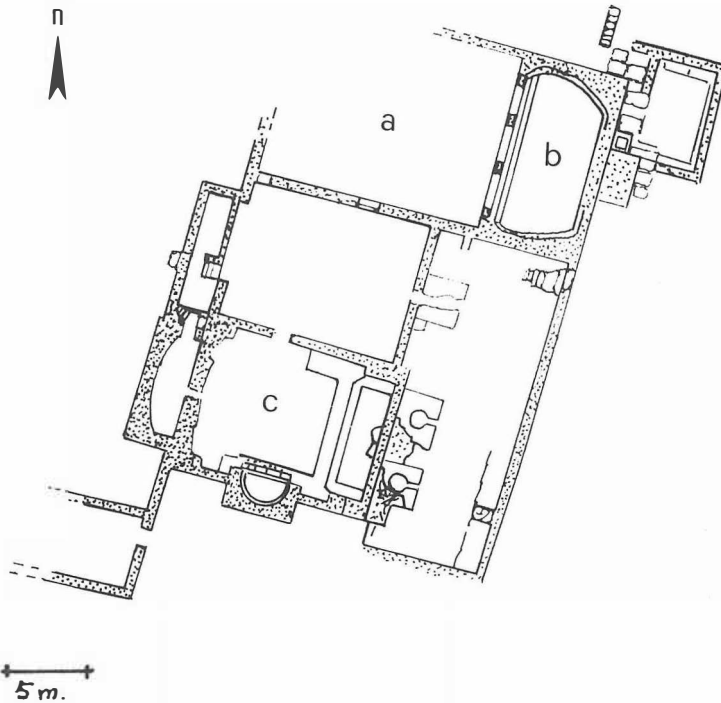


Fig. 1 - Le Terme Romane di Fiesole
a: Frigidarium; b: Piscina di acqua fredda; c: Calidarium

Tephromela atra (arenaria), *Lecanora muralis* (marmo e arenaria), *Lecidea stigmatea* (laterizi), *Verrucaria nigrescens* (marmo, intonaco e arenaria), *Xantoria elegans* (marmo). Alcune di queste specie (*Aspicilia hoffmannii*, *Diploschistes actinostomus*, *Tephromela atra*) sono già state prese in considerazione in occasione dello studio degli effetti della loro crescita sulla Pietra Serena del Teatro Romano (Pallecchi e Pinna, 1988).

Sono state preparate sezioni trasversali dei campioni, includenti oltre al lichene anche parte del materiale sottostante, per poter osservare l'interazione tra il tallo e il substrato su cui questo attecchisce.

Gli aspetti morfologici dell'interazione tallo-substrato sono stati osservati al microscopio elettronico a scansione (SEM) Philips 505. Per lo studio delle variazioni composizionali del substrato attribuibili alla crescita lichenica, sono state eseguite analisi per spettrometria di raggi X in dispersione di energia (EDS) sulle sezioni stesse, utilizzando il sistema microanalitico EDAX unito al SEM.

Frazioni dei campioni (tallo + substrato sottostante) sono state polverizzate in mortaio di agata e analizzate per diffrazione ai raggi X (diffrattometro Philips 1840 con anticatodo in rame - $\text{CuK}\alpha$) per identificare i minerali presenti.

Tabella 1: Distribuzione delle specie nel Tempio Etrusco e nelle Terme Romane (le specie presenti occasionalmente non sono state riportate)
S = scarso; M = medio; A = abbondante

	TEMPIO			TERME		
	arenaria	intonaco	marmo	arenaria	intonaco	laterizi
<i>Aspicilia calcarea</i> (L.) Mudd				S	S	
<i>Aspicilia contorta</i> (Hoffm.) Krempelh.	S		S			
<i>Aspicilia hoffmannii</i> (Ach) Flag.	M	S	S	S	S	
<i>Buellia ambigua</i> (Ach.) Malme				M		S
<i>Caloplaca citrina</i> (Hoffm.) Th. Fr.	S			S	S	
<i>Caloplaca crenularia</i> (With.) Laund.	M			A	M	
<i>Caloplaca teicholyta</i> (Ach.) Steiner	S					
<i>Candelariella vitellina</i> Mull. Arg.	M			M	S	
<i>Collema tenax</i> (Swartz) Ach. em. Degel.	S					
<i>Dermatocarpon minutum</i> (L.) Mann				S		
<i>Diploicia canescens</i> (Dicks.) Massal.	M	S				
<i>Diploschistes actinostomus</i> (Pers.) Zahlbr.	M			M	M	
<i>Diploschistes muscorum</i> (Scop.) R. Santesson	M					
<i>Diploschistes scruposus</i> (Schreber) Norm.	M					
<i>Lecania erysibe</i> (Ach.) Mudd s. lat.	S					S
<i>Lecanora albescens</i> (Hoffm.) Flörke						S
<i>Lecanora campestris</i> (Schaer.) Hue				S		
<i>Lecanora dispersa</i> (Pers.) Sommerf.	S			M	S	S
<i>Lecanora muralis</i> (Schreb.) Rabenh.	A	S	A	S	M	
<i>Lecidea fuscoatra</i> (L.) Ach.	S	S		M	M	
<i>Lecidella stigmatea</i> (Ach.) Hertel et Leuck.	M			M		S
<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach.				S		
<i>Ochrolechia parella</i> (L.) Massal.	M					
<i>Parmelia conspersa</i> Ach.	M					
<i>Parmelia loxodes</i> Nyl.	A					
<i>Parmelia tiliacea</i> (Hoffm.) Ach.	A					
<i>Pertusaria amara</i> (Ach.) Nyl.	S					
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Olivier	S		M			
<i>Physcia biziana</i> (Massal.) Zahlbr.	S			M		
<i>Physcia orbicularis</i> (Necker) Poetsch.	S					
<i>Placynthium nigrum</i> (Hudson) Gray				M		
<i>Scoliciosporum umbrinum</i> (Ach.) Arnold	M			M		
<i>Tephromela atra</i> (Huds.) Hafellner	M			M	M	
<i>Verrucaria nigrescens</i> Pers.	M	M	M	M	M	
<i>Xanthoria elegans</i> (Link) Th. Fr.			M	S		
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th. Fr.	S					

Risultati

Distribuzione delle specie

Tempio Etrusco

La crescita dei licheni è piuttosto uniforme e generalmente abbondante su tutta l'area del Tempio. Predominano nettamente le specie crostose, ma in alcune zone (ad es. sulle pareti verticali dei gradini della scalinata) si osserva un buon sviluppo di specie foliose (v. Tab. 1).

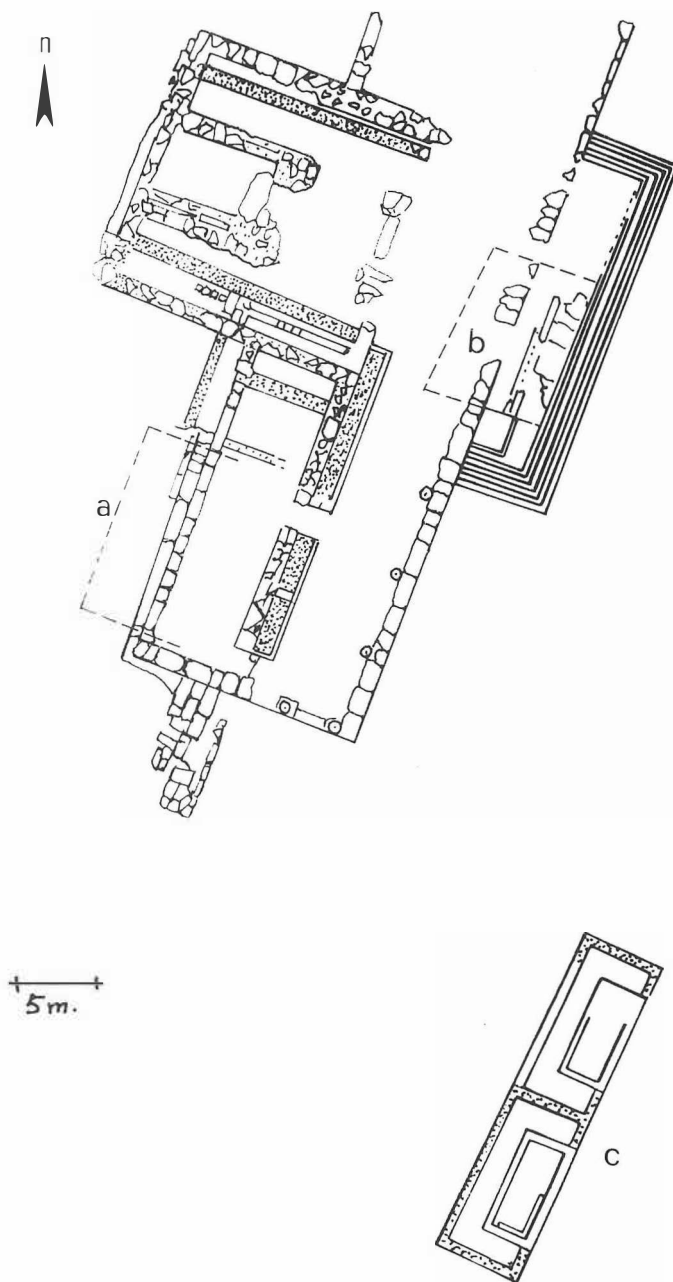


Fig. 2 - Il Tempio Etrusco di Fiesole
 a: parete del 1953 in Pietra Serena e intonaco; b: zona scavata (1954-62) dopo la stesura della carta topografica (1953); c: basamenti in Pietra Serena con lastroni di marmo.

Le indicazioni di Wirth (1980) sugli indici di tolleranza delle singole specie nei confronti di specifici parametri ambientali offrono utili notizie sull'ecologia della zona. Ad eccezione di *Lecanora dispersa*, *Physcia adscendens* e *P. orbicularis*, la maggior parte delle specie presenti è moderatamente nitrofitica; se ne può dedurre che l'eutrofizzazione (apporto di polvere e nitrati) nella zona è a livelli piuttosto bassi.

Inoltre le specie presenti sono in maggioranza fotofitiche, tollerano cioè un grado di luminosità piuttosto elevato.

L'abbondante sviluppo di licheni generalmente osservato non si riscontra sulla superficie della parete più esterna a sinistra della cella (Fig. 2). Tale parete, rifatta nel 1953, è ricoperta con intonaco a base di cemento. Escludendo diversità microclimatiche rispetto alle aree circostanti, si possono ipotizzare due possibili cause di questo modesto sviluppo lichenico: 1) l'età piuttosto recente del muro; 2) il diverso tipo di substrato, l'intonaco a cemento, che potrebbe influenzare lo sviluppo delle specie. Quest'ultima ipotesi può risultare avvallata dal fatto che sugli scalini di Pietra Serena antistanti la cella riportati alla luce durante la campagna di scavo del 1954-62 si osserva invece un discreto sviluppo lichenico. Per quanto riguarda l'esposizione all'atmosfera e quindi l'inizio della colonizzazione dei licheni, gli scalini di Pietra Serena e l'intonaco a cemento sono coevi: si può forse concludere che la Pietra Serena è un materiale più favorevole alla crescita dei licheni dell'intonaco cementizio.

Sui lastroni di marmo che in parte ancora rivestono i basamenti in Pietra Serena (di età Romana) in prossimità del Tempio Etrusco lo sviluppo dei licheni non è molto abbondante, molto meno abbondante che sulla Pietra Serena contigua (dove il rivestimento marmoreo non esiste più). Sul marmo si osserva però la crescita di *Xanthoria elegans*, specie quasi del tutto assente sugli altri materiali.

Terme Romane

Nelle Terme Romane lo sviluppo dei licheni è discontinuo e meno abbondante che nel Tempio Etrusco. L'unica area dove la crescita è discreta è quella dei ruderi della piscina di acqua fredda accanto al Frigidarium (Fig. 1). Le pareti di arenaria della piscina sono in più zone ancora intonacate (l'intonaco è probabilmente originario). Lo sviluppo dei licheni è notevole sia sull'arenaria che sull'intonaco.

Salvo l'eccezione della piscina di acqua fredda, la crescita dei licheni è in generale assai più limitata che nel Tempio e nel Teatro; il fenomeno può essere in parte dovuto alle condizioni ambientali, giacché il monumento è addossato su due lati (Sud ed Est) alla collina e presenta alcune pareti quasi costantemente in ombra.

L'eutrofizzazione, nella zona delle Terme, deve essere modesta come nel caso del Tempio: la maggior parte delle specie è infatti moderatamente nitrofitica. I licheni trovati sono inoltre per lo più fotofitici.

Effetti sui materiali lapidei

L'indagine microanalitica ha mostrato un diverso effetto delle specie liche-

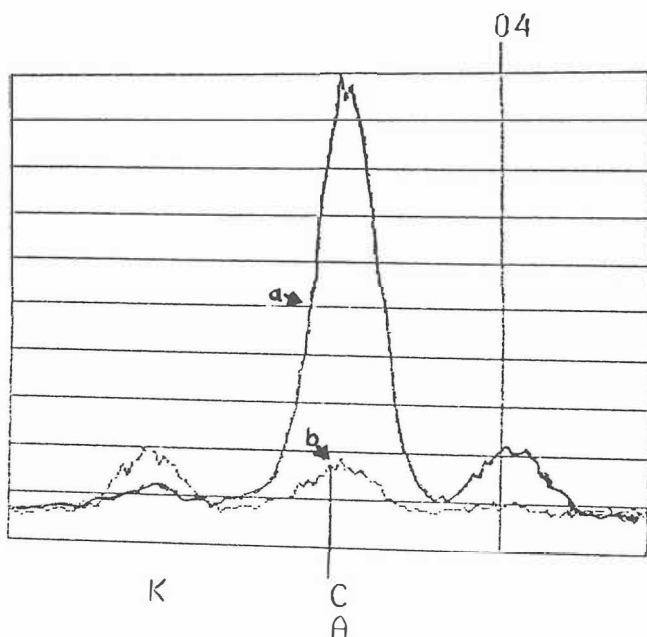


Fig. 3 - Spettro EDS di Ca e K nel tallo (a) di *Aspicilia hoffmannii* e nella Pietra Serena (b) sulla quale cresce.

niche studiate.

La crescita su arenaria di *Aspicilia hoffmannii*, *Diploschistes actinostomus*, *Pertusaria amara* e *Tephromela atra* e la crescita sul marmo di *Xanthoria elegans* provocano modificazioni chimiche nel substrato. Il contenuto di Calcio è infatti maggiore entro il tallo che nella zona del substrato interessata dalla penetrazione delle ife (Fig. 3, 4, 5), mentre gli elementi Si, K, Fe, Al sono presenti nel tallo generalmente in quantità minori che nei substrati lapidei. Un'eccezione è costituita da un campione di *Aspicilia hoffmannii* e da uno di *Diploschistes actinostomus* il cui contenuto di Ferro è in quantità leggermente maggiore entro il tallo che nel substrato.

Inoltre l'analisi per diffrazione RX ha mostrato che il tallo di tutte le specie sopra elencate contiene ossalati di Calcio.

Diverse sono le conseguenze della crescita di altre specie: *Lecanora muralis* (su marmo e arenaria) e *Verrucaria nigrescens* (su intonaco, marmo e arenaria). In questi casi si osservano soltanto modeste variazioni composizionali in un sottile strato superficiale dei substrati (subito sotto ai licheni) dove si evidenzia una piccola diminuzione del Calcio.

Il contenuto di questo elemento evidenziato per analisi EDS può corrispondere ad ossalato di Calcio identificato però, per diffrazione RX, soltanto in tracce nel tallo di *Lecanora muralis* sul marmo.

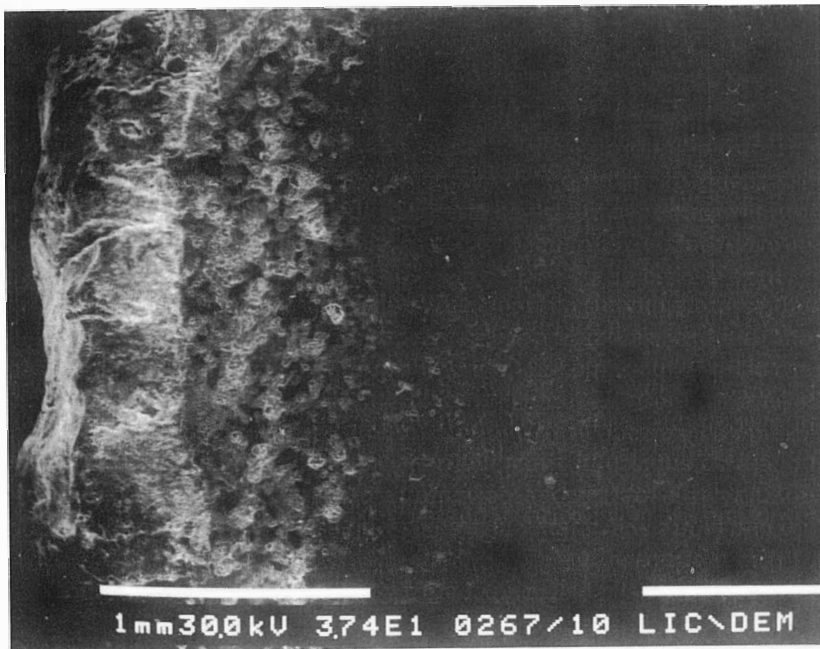


Fig. 4 - Microfotografia al SEM di *Aspicilia hoffmannii* su Pietra Serena (Tempio Etrusco).

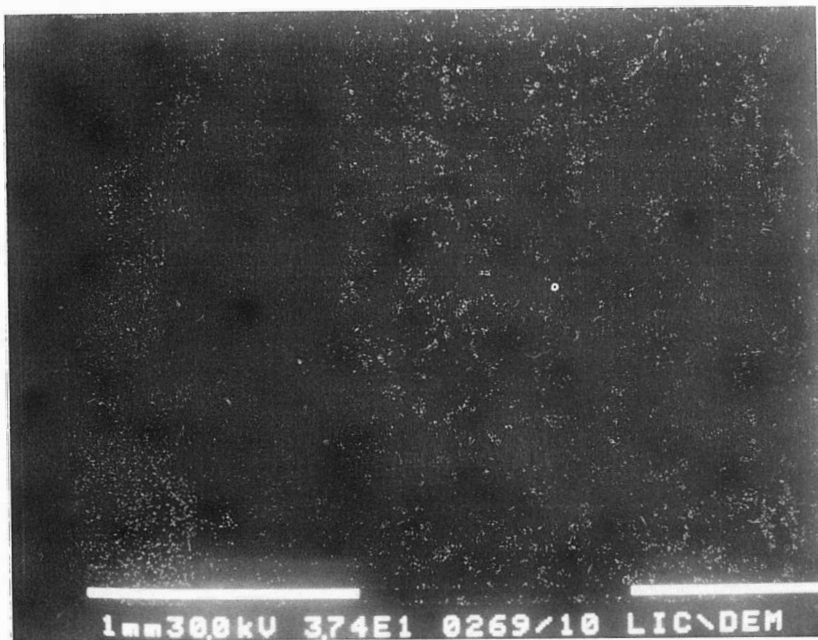


Fig. 5 - Mappa di distribuzione del Calcio corrispondente alla Fig. 4. Si possono riconoscere le regioni ricche di Calcio all'interno del tallo.

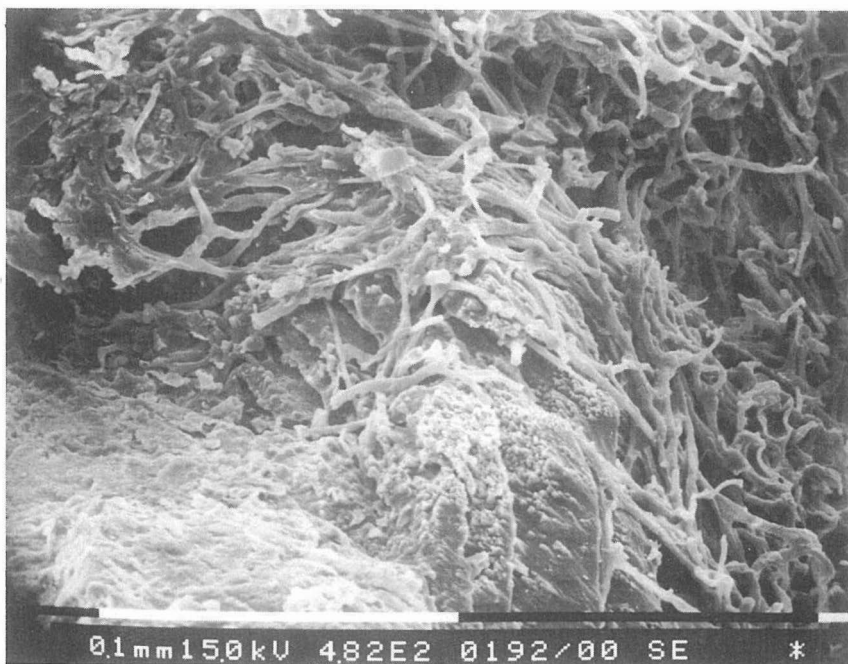


Fig. 6 - Microfotografia al SEM di *Xanthoria elegans* sul marmo. Le ife inglobano un clasto del substrato. Profondità 1 mm.

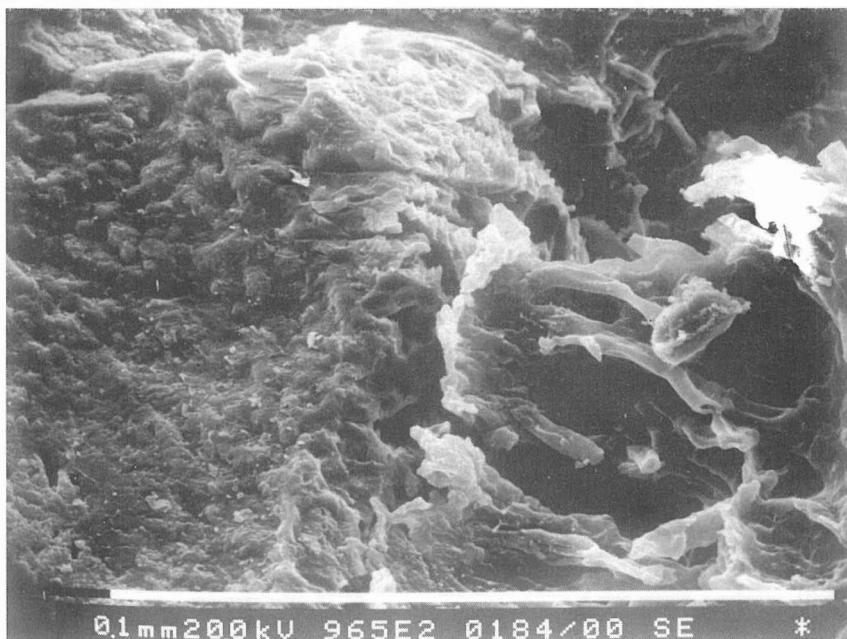


Fig. 7 - Microfotografia al SEM di *Xanthoria elegans* sul marmo. Ife a contatto con il substrato. profondità 1 mm.



Fig. 8 - Microfotografia al Sem di *Verrucaria nigrescens* su intonaco. Profondità 1 mm.

La crescita inoltre di *Lecidella stigmatea* su laterizi non produce apprezzabili modificazioni chimiche sul substrato.

L'osservazione morfologica al SEM di tutte le specie insieme al relativo substrato, in sezione, ha fornito i seguenti risultati: *Aspicilia hoffmannii*, *Diploschistes actinostomus*, *Pertusaria amara*, *Tephromela atra* e *Xanthoria elegans* (Fig. 6, 7) penetrano entro tutti i relativi substrati fino ad una profondità di 2 mm; *Lecanora muralis* e *Verrucaria nigrescens* (Fig. 8) penetrano fino a 1.5 mm; *Lecidella stigmatea* penetra fino a 0.5 mm. Si evidenzia inoltre chiaramente che l'azione meccanica delle ife penetranti provoca una modificazione della struttura originale della pietra.

Conclusioni

L'area comprendente le Terme Romane e soprattutto il Tempio Etrusco rappresenta, analogamente a quanto già osservato nel Teatro Romano (Pallecchi e Pinna, 1988), un ambiente idoneo allo sviluppo di molte specie licheniche.

I substrati più favorevoli alla crescita risultano essere la Pietra Serena e gli intonaci a base di calce, mentre il marmo e i laterizi presentano uno sviluppo piuttosto scarso.

La colonizzazione lichenica, oltre a provocare variazioni cromatiche delle strutture, ha conseguenze di tipo meccanico e chimico sul substrato.

Dagli esami analitici risulta che *Aspicilia hoffmannii*, *Diploschistes actinostomus*, *Pertusaria amara* e *Tephromela atra* sull'arenaria e *Xantoria elegans* sul marmo hanno sottratto il Calcio alla pietra concentrandolo nel tallo. Le stesse specie sono, tra tutte quelle studiate, le uniche che contengono entro il tallo discrete quantità di ossalati di Calcio, composti che possono derivare dalla reazione tra il Calcio e l'acido ossalico prodotto dai licheni (Wadsten e Moberry, 1985). Le stesse specie penetrano all'interno dei materiali lapidei fino a 2 mm.

L'effetto sulla Pietra Serena di alcune di queste specie (*Aspicilia hoffmannii*, *Diploschistes actinostomus*, *Tephromela atra*) è già stato studiato a proposito del Teatro Romano (Pallecchi e Pinna, 1988) e i risultati ottenuti corrispondevano a quelli sopradescritti. Se ne può dedurre che le strutture in Pietra Serena e le condizioni ambientali dell'intera area archeologica sono particolarmente adatte alla crescita di queste tre specie, le quali, a loro volta, sono tra quelle che producono i maggiori danni al materiale lapideo.

Per quanto riguarda le altre specie studiate (*Lecanora muralis* su marmo e arenaria, *Verrucaria nigrescens* su intonaco, marmo e arenaria) è da rilevare che, mentre il danno chimico che esse provocano è di modesta entità, il danno meccanico può essere più grave: tali specie penetrano all'interno dei materiali fino a 1.5 mm, provocando fratture e dislocazioni dei componenti cristallini dei substrati.

Ringraziamenti: Siamo molto grati alla Dr. Raffaella Rossi Manaresi, Direttore di Ricerca del Centro Cesare Gnudi (Bologna), per le stimolanti discussioni, e al Prof. Pier Luigi Nimis, Università di Trieste, per l'aiuto nell'identificazione di molte specie e per gli utili commenti scientifici. Vogliamo ringraziare il Dr. C. Salvianti, Direttore del Museo Archeologico di Fiesole per aver permesso l'accesso all'area archeologica, e A. Sella per l'assistenza tecnica.

Bibliografia

- Ascaso C., Galvan J. e Ortega C., 1976. *The pedogenic action of Parmelia conspersa, Rhizocarpon geographicum and Umbilicaria pustulata*. Lichenologist, 8: 151-171.
- Bellini Delle Stelle F., Mannari A. e Sabelli R., 1984. *Le Terme Romane di Fiesole*. Comune di Fiesole.
- Caputo G. e Maetzel G., 1959. *Presentazione del rilievo di Fiesole Antica*. Studi Etruschi, 27: 41-49.
- Fry E.J., 1927. *The mechanical action of crustaceous lichens on substrata of shale, schist, gneiss, limestone and obsidian*. Annals of Botany, 41: 437-460.
- Iskandar I.K. & Syers J.K., 1972. *Metal-complex formation by lichen compounds*. J. Soil Sci., 23: 255-265.
- Lallement R. & Deruelle S., 1978. *Presence de lichens sur les monuments en pierre. Nuisance ou protection*. International Symposium UNESCO-RILEM: Deterioration and protection of stone monuments, Parigi, Vol. II.
- Lounamaa K.J., 1965. *Studies on the content of iron, manganese and zinc in macrolichens*. Ann. Bot. Fenn., 2: 127-137.

- Malesani P.P. e Vannucci S.A., 1974. *Decay of Pietra Serena e Pietraforte, Florentine building stones: petrographic observations*. Studies in Conservation, 19 (1): 36-49.
- Ozenda P. & Clauzade G., 1970. *Les Lichens*. Masson. Paris.
- Pallecchi P. & Pinna D., 1988. *Alteration of stone caused by lichen growth in the Roman Theatre of Fiesole (Firenze)*. 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Torun. Preprints (in corso di stampa).
- Purvis O.W., Elix J.A., Broomhead J.A. e Jones G.C., 1987. *The occurrence of copper norstictic acid in lichens from cupriferous substrata*. Lichenologist, 19 (2): 193-203.
- Schatz A., 1963. *The importance of metal-binding phenomena in the chemistry and microbiology of the soil. Part I: The chelating properties of lichens and lichen acids*. Advancing Frontiers of Pl. Sci., 6: 113-134.
- Wadsten T. e Moberg R., 1985. *Calcium oxalate hydrates on the surface of lichens*. Lichenologist, 17 (3): 239-245.
- Wirth V., 1980. *Flechtenflora*. Ulmer, Stuttgart.

Indirizzo degli autori:
Dr. Pasquino PALLECCHI
Centro di Restauro della Soprintendenza Archeologica
via D.M. Manni 69
FIRENZE

Dr. Daniela PINNA
Soprintendenza Beni Artistici
Centro Cesare Gnudi
via Belle Arti 56
40126 BOLOGNA