



**COMUNE DI MASSA**  
PROVINCIA DI MASSA-CARRARA

**PIANI DI BACINO DI INIZIATIVA  
PUBBLICA DEI BACINI ESTRATTIVI  
NEL COMUNE DI MASSA**

**Allegato 2**

**IL RUOLO DEI LICHENI NELLA  
RINATURALIZZAZIONE DI  
RAVANETI E FRONTI DI CAVA**

## **Il ruolo dei licheni nella rinaturalizzazione dei ravaneti e fronti di cava**

I licheni derivano dalla simbiosi tra un fungo ed un'alga e/o cianobatterio che danno vita ad un organismo composito. Le due componenti si forniscono a vicenda sostanze nutritive; il fungo apporta acqua e sostanze minerali assorbite dal contesto circostante, mentre l'alga dà sostanze auxotrofiche come le vitamine. Nel caso dei cianobatteri vengono forniti azoto organico, nitrati e sali d'ammonio.

Sono organismi che giocano un ruolo fondamentale e sono alla base della catena ecologica come precursori della pedogenesi. Essi colmano microcavità e/o microfratture con l'humus prodotto dalla loro morte rendendo possibile lo sviluppo di muschi e, collaborando alla degradazione della roccia sottostante e all'impianto successivo di piante erbacee e legnose.

I licheni in base all'aspetto esteriore possono essere crostosi, fogliosi e cespugliosi. La colonizzazione di rocce fresche è operata da licheni crostosi e in questo caso il tallo, che origina la popolazione, sulla roccia si forma come crosta appiattita a forma sub-circolare.

È necessario inoltre distinguere licheni epilittici e licheni endolittici. I primi vivono all'esterno della roccia, incrostandosi su di essa, i secondi vivono all'interno sino a qualche centimetro (Del Monte, 2009).

I licheni sono organismi con un'alta capacità di colonizzare varietà di substrati incluse le terre, i suoli, gli alberi e le strutture antropiche.

Le naturali caratteristiche dei marmi, per quanto concerne la porosità ed il loro grado di fratturazione, favoriscono l'instaurarsi delle colonie dei licheni. I licheni infatti si insediano sulle superfici molto porose o comunque già deteriorate. La colonizzazione dei calcari e marmi è diffusa soprattutto nelle sporgenze, ben areate e soggette all'azione diretta dell'acqua di pioggia (Del Monte, 2009).

L'azione dei licheni sulle rocce è piuttosto aggressiva ed è sia di tipo meccanico data dalla penetrazione delle ife fungine, con conseguente ampliamento delle microfratture delle rocce, sia di tipo chimico. In quest'ultimo caso si ha il rilascio da parte delle ife fungine di sostanze che solubilizzano i minerali che compongono la roccia stessa (Nimis, 1988).

Nel caso dei marmi delle Alpi Apuane la colonizzazione con i licheni è ben sviluppata soprattutto sui marmi e determinano un caratteristico imbrunimento di queste rocce (Figura 1).

Il cambio di colorazione che presenta il marmo sotto effetto della colonizzazione dei licheni è uno dei principali elementi di rinaturalizzazione dei ravaneti.

I ravaneti, come è noto costituiscono uno dei principali elementi di impatto paesaggistico delle aree estrattive e la loro rinaturalizzazione è uno dei principali obiettivi del ripristino paesaggistico ed ambientale che, viene perseguito attraverso la rimozione del ravaneto stesso o altre azioni (piantumazione, idrosemina, ecc).

Recentemente il Parco delle Alpi Apuane ha pubblicato una carta a scala 1:20.000 in cui sono indicati i ravaneti "rinaturalizzati" e che sono pertanto indicati come non asportabili. La rinaturalizzazione dei ravaneti è determinata dal loro grado di "imbrunimento", talvolta definito "ossidazione", realizzato essenzialmente dalla colonizzazione dei licheni incrostanti e dalla crescita di erba ed arbusti (rivegetazione). In sostanza il ravaneto è considerato rinaturalizzato quando il suo aspetto è analogo a quello di una sassia naturale.

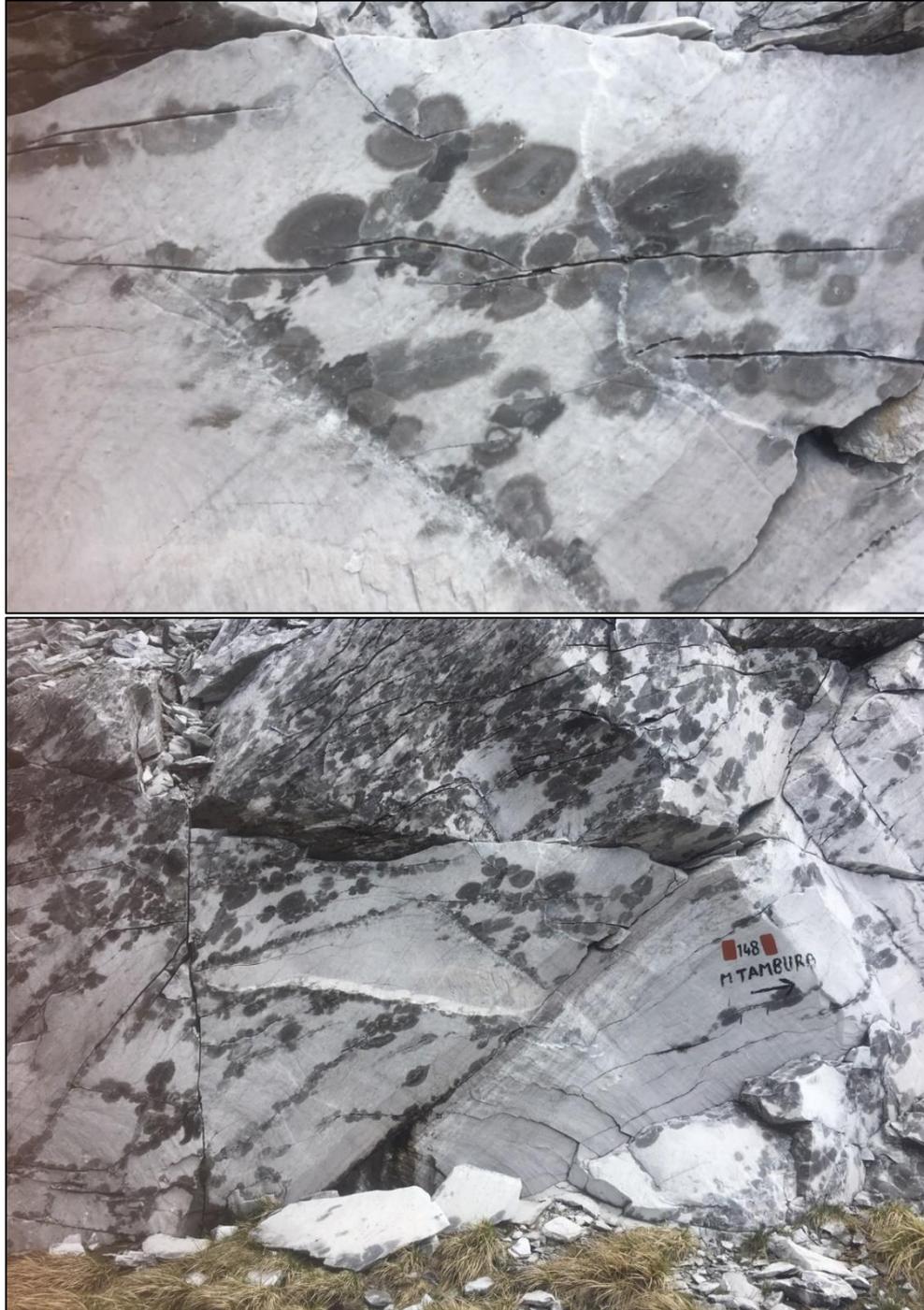


Figura 1 – Dettagli di licheni su marmi dell’area di Piastramarina (Comune di Massa). Si evidenziano la tipica forma sub-circolare e la colorazione scura.

La crescita di vegetazione sui ravaneti è grandemente ostacolata dalla loro permeabilità e dalla scarsità di frazioni fini, perciò l’azione di imbrunimento che esercitano i licheni sui marmi gioca un ruolo decisivo nella rinaturalizzazione dei ravaneti.

Dal confronto tra sassaie naturali, come quelle del versante sinistro dell'alto corso del Lucido con un ravaneto dell'inizio del secolo scorso dell'area di Piastramarina (Figura 2) si evince che la colonizzazione dei licheni su ravaneti di cava e fronti produce una copertura del suolo del tutto analoga alle sassaie naturali. Ne deriva che il processo di colonizzazione dei ravaneti dà un contributo essenziale al recupero paesaggistico delle aree impattate dalle coltivazioni.

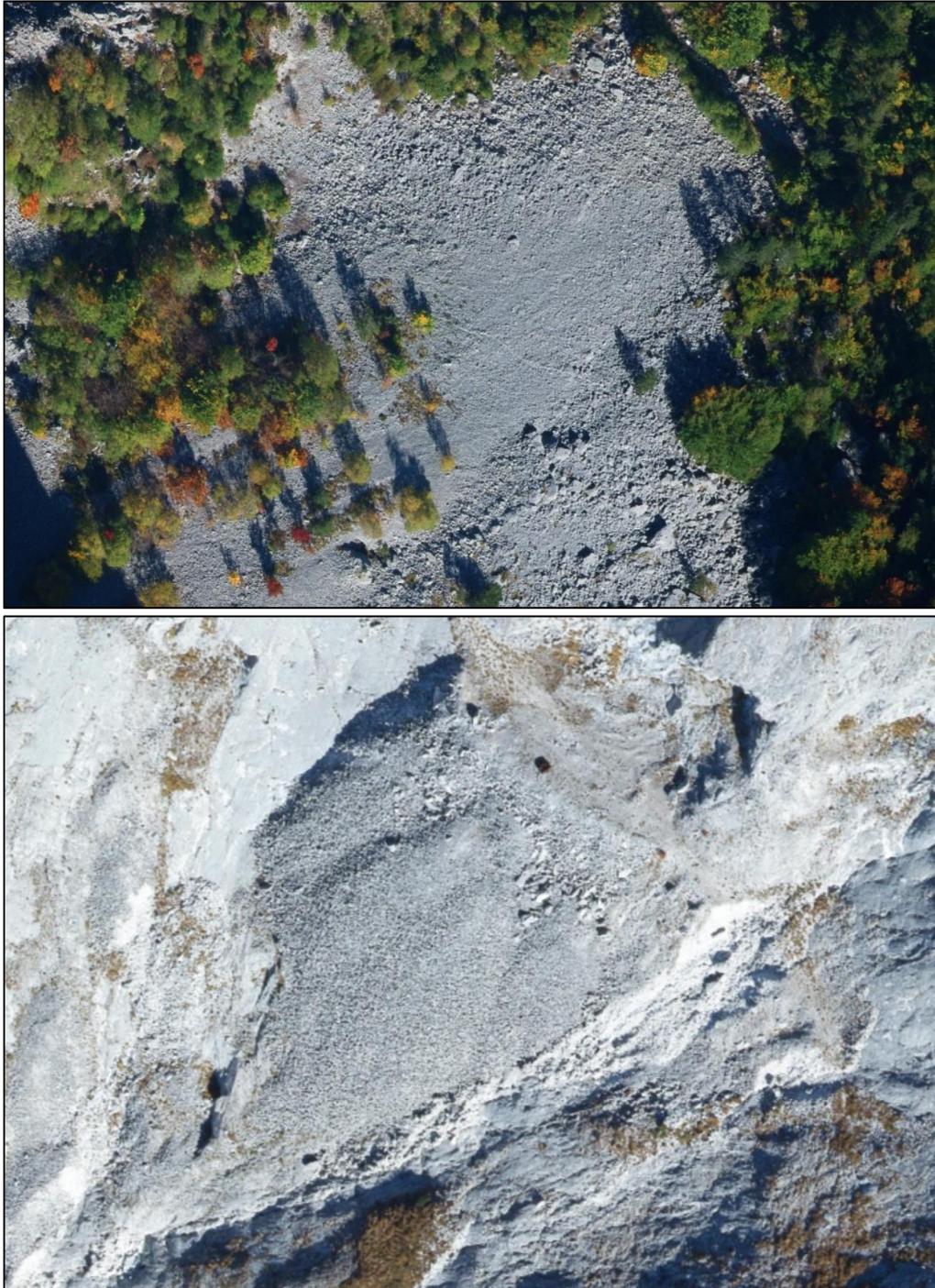


Figura 2 – Nell'immagine in alto foto aerea della sassaia del versante sinistro dell'alta valle del Lucido e nell'immagine in basso foto aerea di un ravaneto dell'inizio del secolo scorso dell'area di Piastramarina.

Utilizzando il colorimetro del Centro di Geotecnologie (Figura 3) si è verificato che:

- il colore degli elementi delle sassaie naturali e dei ravaneti antichi è assai simile,
- il colore di tre elementi di un ravaneto antico di Piastramarina mostra un notevole grado di omogeneità,
- esiste un a grande differenza di colonizzazione tra la superficie superiore ed inferiore dei clasti dei ravaneti.

In Figura 4 sono riportati i tre clasti di un ravaneto antico di Piastramarina su cui sono state eseguite delle misure colorimetriche sul lato superiore e sul lato inferiore dei clasti. L'analisi colorimetrica è stata effettuata mediante l'utilizzo del colorimetro CR-410 (Figura 3) della Konica Minolta in grado di eseguire misure colorimetriche secondo normativa ASTM E805: Standard Practice for Identification of Instrumental Methods of Color or Color-Difference Measurement of Materials.



*Figura 3 – Colorimetro CR-410.*

I valori misurati sono riportati in Tabella 1, espressi in spazio colore CIELAB rappresentanti la media di 10 misurazioni.

Su ogni campione è stata misurata la superficie superiore e la superficie inferiore, più chiara e chiaramente meno colonizzata dai licheni.



Figura 4 – Immagine dei campioni analizzati.

Campioni	Valori medi di coordinate di cromaticità e	Superficie non o parzialmente alterata	Valori RGB	Superficie grigia (alterata)	Valori RGB
1A	L* (D65)	68,52	176	49,69	122
	a* (D65)	1,61	166	0,58	118
	b* (D65)	10,72	148	4,37	111
1B	L* (D65)	65,98	170	46,38	113
	a* (D65)	1,88	159	0,79	109
	b* (D65)	10,57	141	3,93	103
1C	L* (D65)	54,77	138	46,01	112
	a* (D65)	1,30	130	0,86	108
	b* (D65)	7,93	117	3,27	104

Tabella 1 – Tabella con i valori misurati.

La colonizzazione dei substrati in marmo da parte dei licheni è ben nota, in quanto l'argomento è stato oggetto di numerosi studi in relazione al biodeterioramento e all'alterazione cromatica dei beni culturali da parte di questi organismi (Modenesi e Lajolo, 1988). Il processo di alterazione di substrati carbonatici è stato indagato da Ascaso et al. (1882) che hanno mostrato come la dissoluzione dei cristalli di calcite sia dovuta alla secrezione di acido ossalico, con conseguente precipitazione di ossalato di calcio.

Un caso estremamente interessante è quello riportato da Nascimbene et al. (2009), che hanno indagato la ricolonizzazione lichenica di una statua calcarea, la cui flora lichenica (colonizzazione del 90%) era stata indagata prima della rimozione di questi organismi con classici trattamenti biocidi e susseguente trattamento con resine con fine di indurimento e idrorepellenza del marmo. La fFigura 5 mostra come a distanza di 10-15 anni dal trattamento il restauro la statua si presenti nuovamente già ben colonizzata da licheni, con percentuali di ricoprimento del 60% e del 70% rispettivamente a quella iniziale. Nimis e Salvadori (1997), che hanno indagato la flora lichenica prima del trattamento, conclusero il loro studio affermando che essendo impossibile eliminare la causa principale della crescita dei licheni, i risultati della loro completa rimozione sarebbero stati di breve durata, predicendo una ricolonizzazione a partire già da 5-8 anni dopo il restauro. La causa della crescita lichenica fu individuata nella eutrofizzazione diffusa che trova spiegazione nella massiccia presenza di attività agricole nei dintorni.

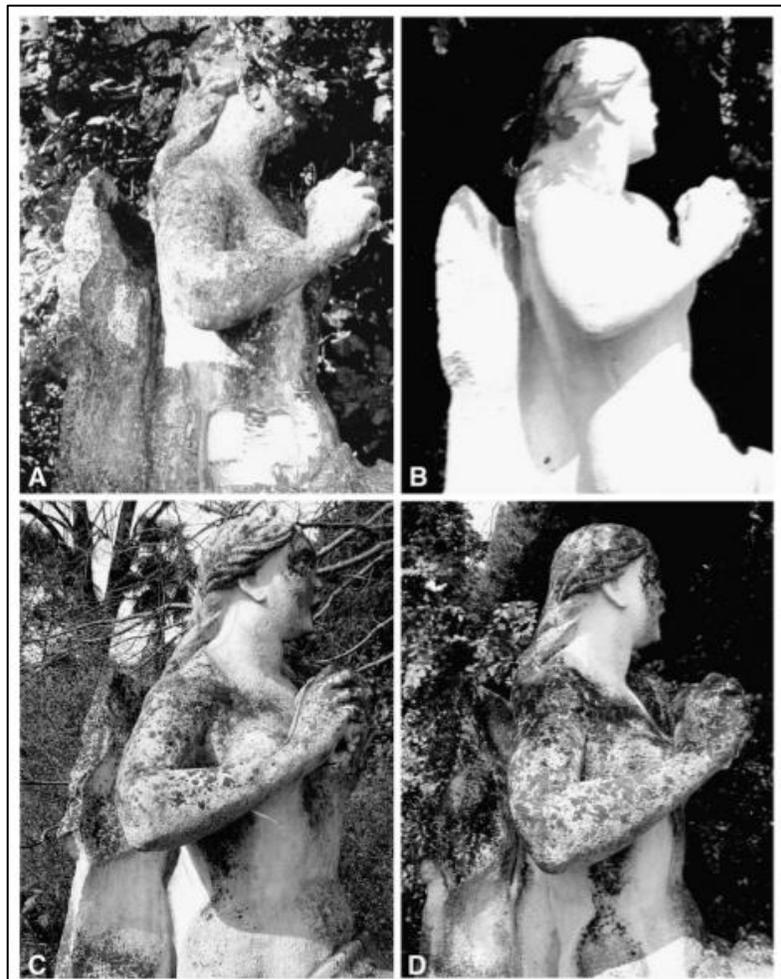


Figura 5 – Immagine di statue calcaree Musa del Parnaso nella Villa Manin (Friuli-Venezia Giulia). In a) condizioni prima della restaurazione, b) dopo la restaurazione nel 1996, c) licheni nel 2004 e in d) licheni nel 2008.

Da notare che nel caso studio, l'elevata porosità del materiale lapideo (circa 40%) favorisce i processi di biodeterioramento a causa degli effetti diretti e indiretti dell'acqua, che aumenta fortemente la rugosità della superficie, creando così le condizioni ideali per una elevata biorecettività.

I tassi di crescita dei licheni epilittici sono stati a lungo indagati al fine di consentire la datazione di particolari aspetti quali morene, fronti rocciosi conseguenti a eventi sismici, ecc. Tale disciplina prende il nome di "lichenometria" ed è basata sull'assunto che conoscendo il tasso di crescita annuale di una data specie e misurandone il diametro del tallo più grande su una superficie esposta sia possibile risalire alla sua età (Armstrong, 2016). A tal fine, uno dei materiali più studiati sono state le lapidi cimiteriali, dove la datazione iniziale è nota con certezza ed è quindi possibile stimare i tassi di crescita annuali delle specie che le colonizzano. Con questo metodo è addirittura possibile valutare i cambiamenti climatici occorsi nel tempo (Armstrong, 2004).

I tassi di crescita delle specie licheniche sassicole su superfici rocciose naturali seguono generalmente un trend ben definito, caratterizzato da una fase di rapida crescita nelle prime decadi, seguita da una veloce fase di decrescita, approssimando grossomodo la dimensione massima del tallo. Ci sono tuttavia notevoli differenze interspecifiche nei tassi e nel periodo di crescita, così come nella dimensione massima del tallo. Ad esempio, uno studio effettuato da Hestmark et al. (2004) ha mostrato come quattro specie licheniche appartenenti al genere *Umbilicaria* mostrassero tassi di crescita variabili da 0.9 a 2.4 mm all'anno, periodo di crescita variabile da 65 a 140 anni e diametro massimo variabile da 47 a 68 mm.

Armstrong (1974) individua quattro fasi di crescita del tallo lichenico:

- 1) fase giovanile a lenta crescita,
- 2) fase di crescita esponenziale,
- 3) fase matura dove la crescita rallenta e il tallo si avvicina alla massima dimensione,
- 4) fase senescente, dove la crescita cessa e il tallo inizia a frammentarsi e/o disintegrarsi.

Tale modo di colonizzare è stato definito "auto-catalitico" (Gorbushina, 2007), nel senso che la colonizzazione iniziale aumenta le irregolarità superficiali, promuovendo così l'instaurarsi di nuovi propaguli, l'arricchimento in nutrienti e la crescita dei talli presenti.

A carattere esemplificativo si riportano di seguito le curve di crescita delle quattro specie di *Umbilicaria* dello studio di cui si è detto sopra, realizzato nel Parco Nazionale del Jotunheimen, in Norvegia, su substrato costituito da rocce metamorfiche di alto grado (granulite, gneiss, rocce ultramafiche) (Figura 6).

**Fig. 2.** Growth curves for four *Umbilicaria* species, generated by fitting an asymptotic growth model to observations of the five largest thalli in a given time interval.

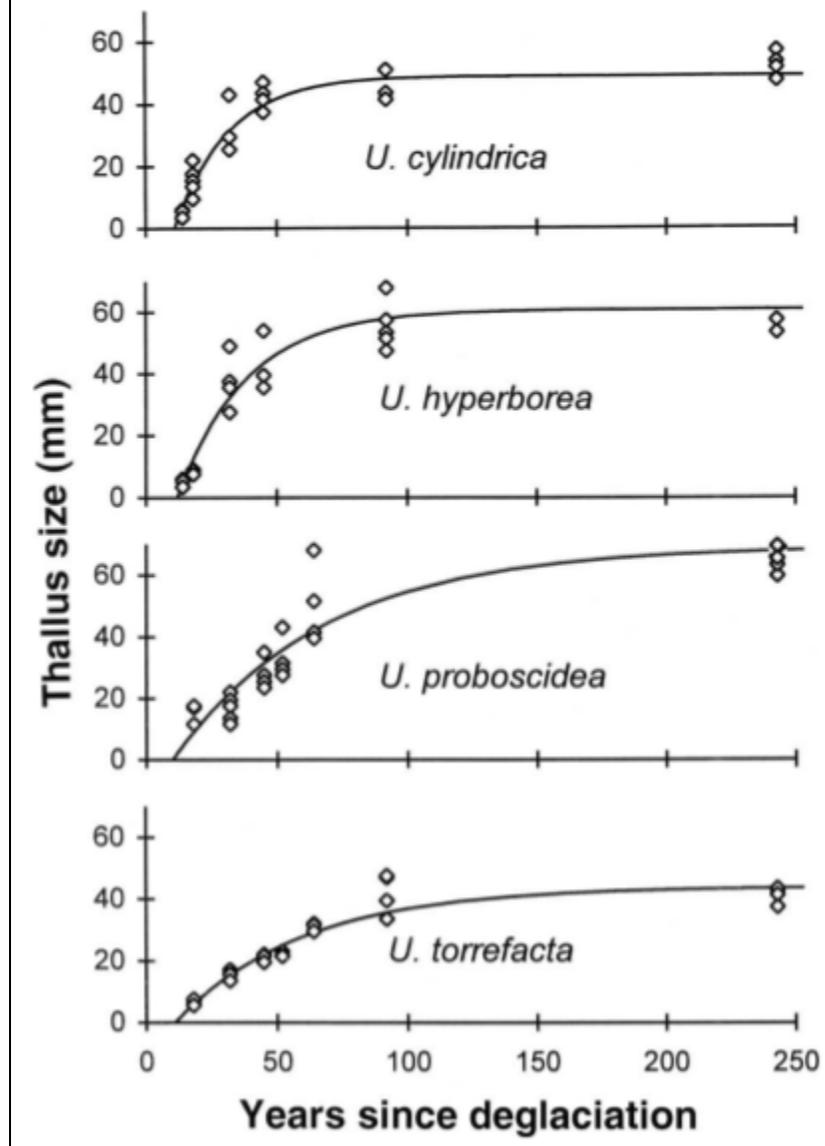


Figura 6

Questi dati bibliografici suggeriscono che la colonizzazione delle rocce da parte dei licheni abbia una velocità non costante.

Abbiamo approfittato dell'esistenza nella cava di Piastramarina di una serie di gradoni parzialmente o totalmente colonizzati e di cui era nota l'età del taglio.

I gradoni sono riportati in Figura 9.

Su foto di questi gradoni si è effettuato un'analisi spaziale sul tasso di crescita dei licheni.

La procedura, che ha permesso di quantificare la percentuale dei licheni presenti su un fronte di cava, è stata svolta in ambiente GIS e si è basata sulle seguenti fasi di lavoro:

## 1. Selezione dei dati di partenza

Il dato di partenza, necessario alle stime in esame, è stata un'immagine fotografica frontale raffigurante 6 gradoni di Cava Piastramarina, che hanno le seguenti età (Figura 7):

- 1: 1978
- 2: 1985
- 3: 1986
- 4: 1990
- 5: 1995
- 6: 2000

## 2. Trasformazione in scala dell'immagine fotografica

L'immagine è stata scalata in funzione delle dimensioni effettive degli oggetti fotografati. Le dimensioni planimetriche ed altimetriche reali sono state estrapolate rispettivamente da una ortofoto regionale dell'area con risoluzione pari a 20 cm e dal Modello Digitale del Terreno (DTM) con risoluzione pari a 1 metro prodotto da rilievo Lidar.



Figura 7 - Immagine frontale dei gradoni di Cava Piastramarina numerati in ordine crescente procedendo dal più antico al più giovane.

## 3. Creazione di finestre di elaborazione

Dopo aver scalato l'immagine sulle dimensioni reali, sono state definite e digitalizzate 6 finestre di 180 m<sup>2</sup> (30x6 metri), ognuna disposta sulla facciata di ciascun gradone e finalizzata a circoscriverne l'elaborazione (Figura 8).

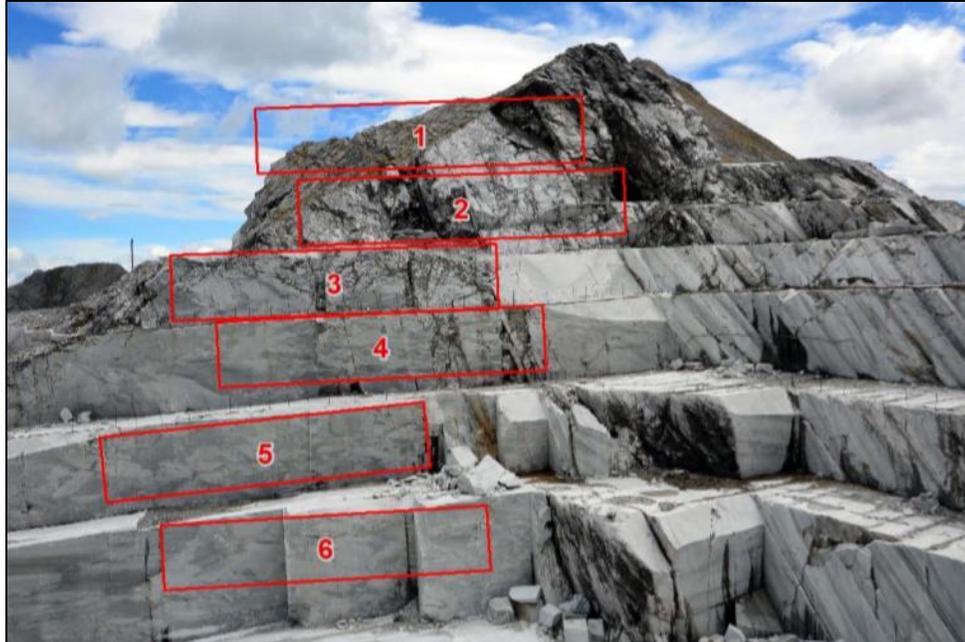


Figura 8 - Finestre di indagine a dimensioni fisse per calcolare la presenza dei licheni sui vari gradoni di Cava Piastramarina.

#### 4. Classificazione automatica ed elaborazioni in ambiente GIS per l'individuazione dei licheni.

Effettuando un ritaglio tra l'immagine scalata e le finestre di indagine, sono state isolate 6 immagini raster in formato .tif, ciascuna rappresentante la superficie di un gradone compresa all'interno della relativa finestra. Ogni immagine (a) è stata elaborata in ambiente GIS secondo queste modalità:

- classificazione iniziale di tipo non supervisionato (b). Nel dettaglio, è stato sfruttato un algoritmo che permette di riconoscere, e raggruppare all'interno di una stessa classe, i pixel che mostrano una distribuzione in clusters (Figura 9);
- isolamento e vettorializzazione automatica della sola classe dei licheni (c), ovvero della sola classe contenente i pixel rappresentanti le aree coperte da licheni.

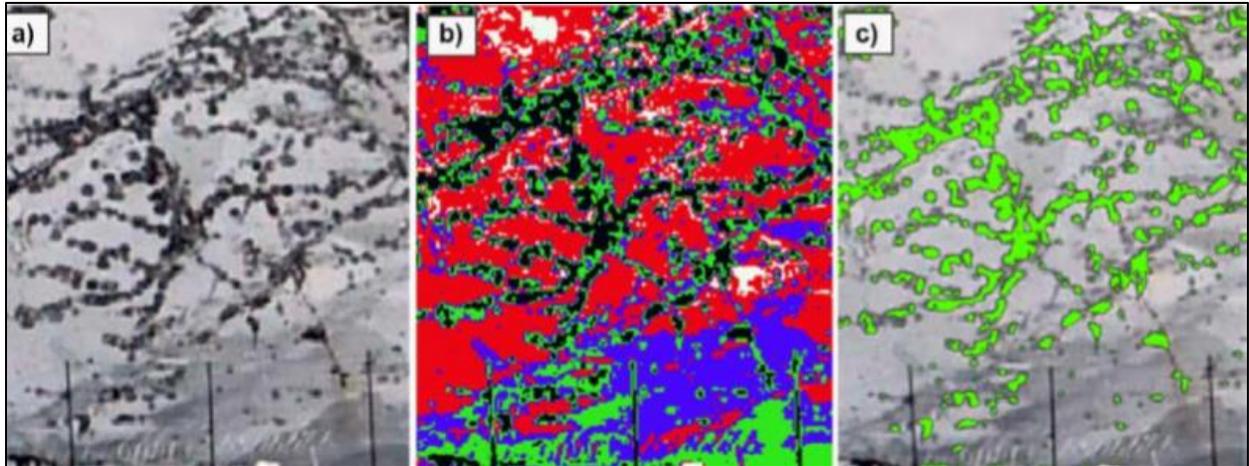


Figura 9 – Particolare del gradone n°3 e sue fasi di elaborazione: a) immagine RGB, b) risultato della classificazione non supervisionata e c) vettorializzazione della classe “licheni”.

## 5. Quantificazione percentuale di naturalizzazione

L'ultima fase di elaborazione ha previsto, per ciascun gradone, il calcolo automatico dell'area occupata dai poligoni della classe “licheni” e, successivamente, la stima in percentuale rispetto all'area totale della finestra di indagine (Figura 10). Per l'area n° 1, viene stimata una percentuale colonizzata da licheni del 100%, le altre superfici sono valutate percentualmente rispetto alla prima valutata 100%

Dai risultati emerge un aumento della percentuale di licheni all'aumentare dell'età della zona indagata secondo la progressione riportata in Tabella 2.

Numero del gradone	Anno di scavo	Età del gradone	Percentuale colonizzata
1	1978	41	100%
2	1985	34	38%
3	1986	33	12%
4	1990	29	7%
5	1995	24	5%
6	2000	19	0,8%

Tabella 2 – Stime percentuali di distribuzione di licheni individuati in ciascuna finestra di elaborazione.

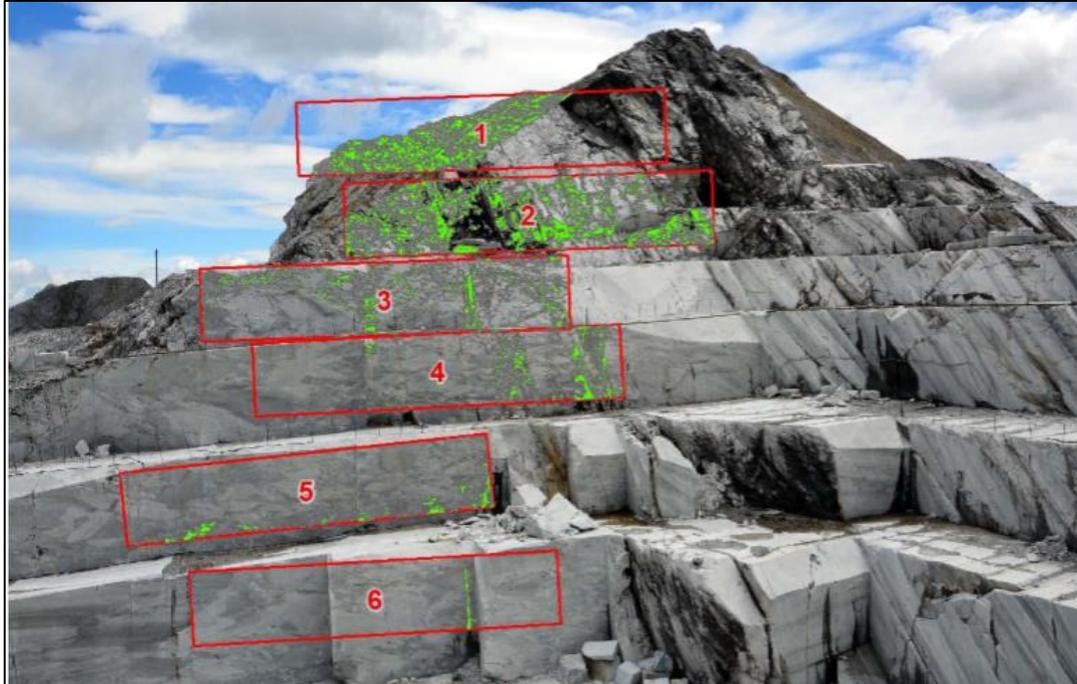


Figura 10 – Distribuzione della classe “licheni” in ciascuna finestra di elaborazione.

La Figura 11 mostra il trend della colonizzazione lichenica nel corso degli anni. Si ha una crescita iniziale molto lenta seguita da una colonizzazione molto rapida e dopo circa 40 anni si ha la copertura completa della superficie rocciosa (100% di colonizzazione) e che non potrà aumentare ulteriormente. Questa copertura lichenica procede molto lentamente all’inizio per poi avere una crescita molto rapida ed arrivare alla completa copertura della superficie rocciosa.

A parte la difficoltà iniziale dello sviluppo dei licheni, forse dovuto alle caratteristiche del substrato estremamente liscio a causa del taglio meccanico piano, l’andamento sembra confermare gli esperimenti riportati in Figura 6.

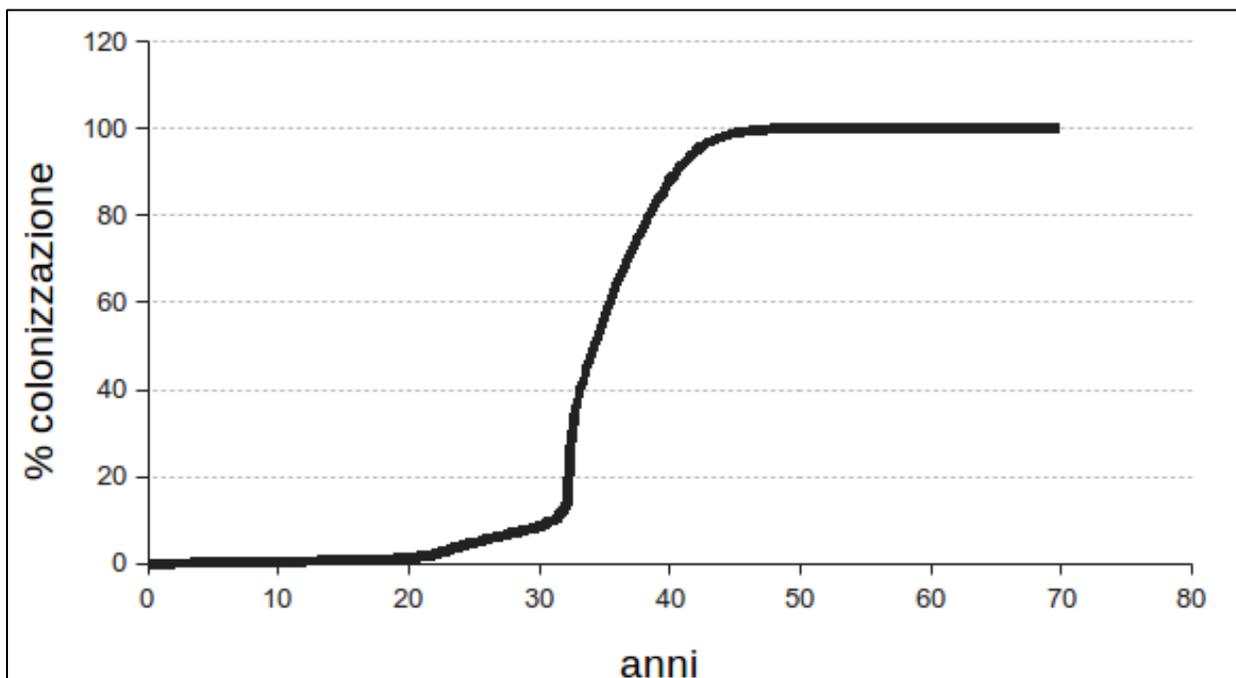


Figura 11 – Immagine del trend della colonizzazione lichenica nel corso degli anni rispetto al fronte di cava.

Tale trend è altresì coerente anche con le tempistiche e le dinamiche di colonizzazione lichenica riscontrate su tutt'altro substrato, ovvero la cava di crisotilo di Balangero e Corio presso Torino, la più importante cava di asbesto dell'Europa occidentale (Favero-Longo et al., 2006) (Figura 12).

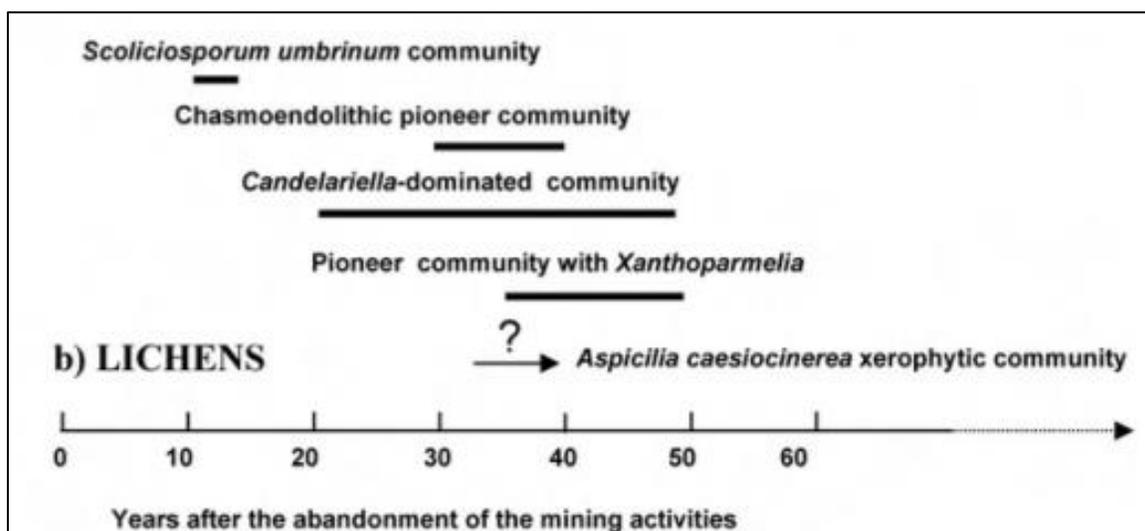


Figura 12 – Immagine delle tempistiche e dinamiche di colonizzazione dei licheni nella cava di crisotilo di Balangero e Corio presso Torino.

L'area estrattiva di Carrara è stata oggetto di uno studio da parte del Gruppo di Lavoro per la Biologia della Società Lichenologica Italiana nell'ambito del progetto "Licheni e Beni Culturali Lapidei" (Favero-Longo et al., 2013). La colonizzazione lichenica è stata esaminata sulle superfici di una cava in attività (N. 177) con differenti età di esposizione/abbandono. Sulle superfici esposte da 20-30 anni sono presenti *Physcia sp.*, *Caloplaca sp.* e *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr. Su antiche pareti di cava, non più lavorate da 60-70 anni, dominante è *Verrucaria foveolata* (Flörke) A. Massal. Sul detrito di cava risalente ad attività estrattiva di oltre 100 anni addietro sono state osservate *Verrucaria lecideoides* (A.Massal.) Trevis., *V. muralis* Ach., *V. transiliensis* Arnold e la specie endolitica *Thelidium absconditum* (Hepp) Rabenh.

Un'abbondante colonizzazione lichenica, ricca sia in termini di copertura media (>80%) che di diversità specifica, è stata osservata in un'area di un centinaio di m2 di affioramenti naturali interposti fra le superfici di cava, nei dintorni di Colonnata. Caratterizzante è la presenza di *Thelidium absconditum*, *Squamarina cartilaginea* (With.) P. James, *Protoblastenia calva* (Dicks.) Zahlbr., *P. incrustans* (DC.) J. Steiner, *Fulgensia fulgida* (Nyl.) Szatala, *Verrucaria lecideoides*, *Aspicilia sp. pl.*

Oltre alle cave e agli affioramenti naturali, la biodiversità lichenica è stata indagata anche su beni culturali, nello specifico sui marmorei dell'anfiteatro e del foro del sito archeologico di Luni, sul Santuario del Mirteto di Ortonovo, sul Duomo e sulla Fontana del Gigante a Carrara. L'esito è sintetizzato in Figura 13.

Specie	Luni		Ortonovo	Carrara	
	Anf.	Foro		Duomo	Fontana
<i>Aspicilia contorta</i> ssp. <i>hoffmanniana</i> S. Ekman & Fr	x				
<i>Bagliettoa parmigera</i> (J.Steiner) Vězda & Poelt	x				
<i>Caloplaca aurantia</i> (Pers.) Hellb.	x	x			
<i>Caloplaca chalybaea</i> (Fr.) Müll.Arg.	x				
<i>Caloplaca citrina</i> (Hoffm.) Th.Fr.	x	x	x		x
<i>Caloplaca flavescens</i> (Huds.) J.R.Laundon	x	x	x		
<i>Caloplaca inconnexa</i> (Nyl.) Zahlbr.	x				
<i>Caloplaca ochracea</i> (Schaer.) Flagey	x	x			
<i>Candelariella aurella</i> (Hoffm.) Zahlbr.	x	x			x
<i>Lecanora albescens</i> (Hoffm.) Branth & Rostr.		x			
<i>Lecanora campestris</i> (Schaer.) Hue	x				
<i>Lecanora dispersa</i> (Pers.) Sommerf.	x			x	x
<i>Lobothallia radiosa</i> (Hoffm.) Hafellner			x		
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H.Olivier			x		
<i>Porina chlorotica</i> (Ach.) Müll.Arg.	x				
<i>Verrucaria nigrescens</i> Pers.		x	x		
<i>Xanthoria calcicola</i> Oksner		x			

Figura 13 – Elenco delle specie analizzate nell'area estrattiva di Carrara.

La presenza lichenica sul marmo di Carrara è stata considerata non solo in termini di colonizzazione superficiale, ma anche di sviluppo della componente ifale di penetrazione all'interno del substrato litico. Per questo, nell'impossibilità di campionare i materiali in opera unitamente al substrato, sono stati utilizzati per lo studio materiali prelevati nei siti di cava e di affioramento naturale. Sezioni trasversali sono state in particolare allestite per *Aspicilia contorta*, *Verrucaria nigrescens* e *Thelidium absconditum*, rappresentative della colonizzazione epi- ed endolitica sul substrato in esame anche in opera. L'interazione con il substrato è stata esaminata

in termini di sviluppo massimo della componente ifale di penetrazione mediante osservazioni in microscopia in luce riflessa e analisi di immagine. I risultati hanno mostrato che la penetrazione ifale di licheni epililitici ed endolitici nel marmo di Carrara interessa profondità di diversi millimetri, risultando rilevante in termini di deterioramento fisico e, potenzialmente, chimico. Nello specifico, comune alle tre specie è risultata una penetrazione massiva estesa ai primi 2-5 *layer* di cristalli di calcite, corrispondenti a poche centinaia di micron in profondità (*A. contorta*: 200-250  $\mu\text{m}$ , *T. absconditum*: 300-750  $\mu\text{m}$ , *V. nigrescens*: 250-300  $\mu\text{m}$ ). *A. contorta* e *V. nigrescens* hanno mostrato, rispettivamente, una penetrazione massima di 2 e 3 mm di profondità, con ife rade limitate agli spazi inter-cristallini. L'endolitico *T. absconditum* ha mostrato una penetrazione massima fino a 5 mm di profondità, caratterizzata da gomitoli ifali nelle macro-discontinuità fra i cristalli, ben apprezzabili con l'osservazione di sezioni sottili lichenopetrografiche.

Queste ricerche dimostrano che i marmi apuani sono un ottimo supporto per la crescita di numerose specie.

Un tema assai rilevante per il ripristino paesaggistico delle aree impattate dalle coltivazioni di marmi è il tema delle modalità di accelerazione il processo di colonizzazione lichenica, dalla letteratura sembra che alcune strategie possono essere messe in atto.

Sono molti i fattori ambientali che influenzano l'insediamento, la crescita e lo sviluppo dei licheni sulle superfici rocciose, tra cui l'umidità, l'irraggiamento solare, la temperatura, ecc., ma su tutti domina certamente la presenza di nutrienti. La componente fotoautotrofa della simbiosi lichenica assicura l'organizzazione della CO<sub>2</sub> atmosferica sotto forma di zuccheri più o meno complessi, ma per uno sviluppo completo il tallo necessita di apporto di nutrienti. Gli studi in letteratura che riportano un effetto stimolante dell'applicazione di nutrienti per la crescita dei licheni sono numerosi (si veda ad esempio Welch et al., 2006), e tutti sono concordi nell'individuare un classico trend che vede un aumento della crescita fino a una certa soglia, oltre la quale l'eccesso di azoto diventa tossico, non essendoci più la possibilità di garantire un rapporto carbonio/azoto equilibrato (Munzi et al., 2013) (Figura 14).

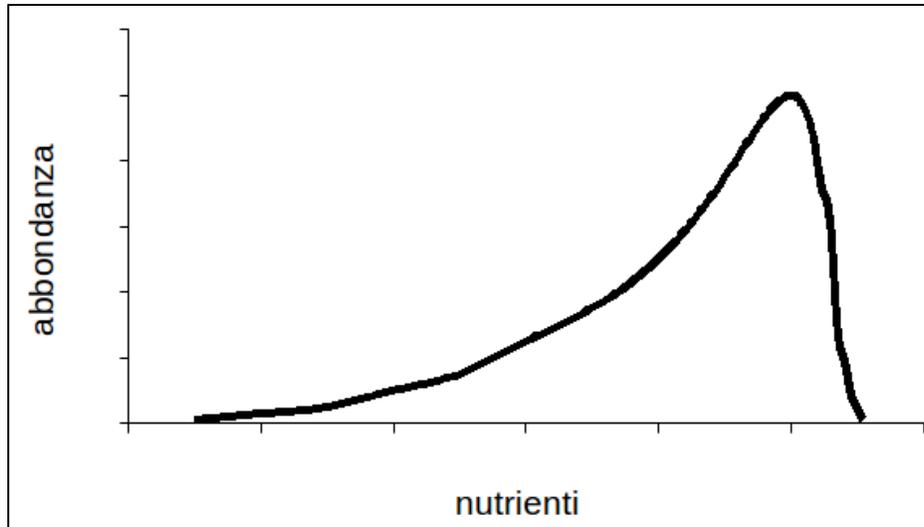


Figura 14 – Trend che mostra prima un aumento esponenziale della crescita dei licheni quando sono sottoposti applicazione di nutrienti. Oltre una certa soglia l'eccesso di azoto diventa tossico, non essendoci più la possibilità di garantire un rapporto carbonio/azoto equilibrato.

Studi sulla colonizzazione lichenica di specie epilittiche crostose in relazione all'apporto di nutrienti sono stati effettuati in Antartide (Smith, 1995, Figura 15). Tale studio, della durata di circa 20 anni, ha mostrato come i substrati litici interessati da apporto di nutrienti determinato da uccelli marini avessero una colonizzazione più rapida e con talli a maggior tasso di crescita rispetto a superfici senza apporto di nutrienti. Al termine dei 20 anni dello studio la colonizzazione dei substrati arricchiti di nutrienti arrivava al 90%, mentre su quelli non arricchiti si attestava attorno al 25% (Figura 15). Nel primo caso la crescita annua dei talli arrivava al 30%, mentre nel secondo al 5%. È altresì interessante notare come le curve di colonizzazione (Figura 15) siano assai simile a quelle riscontrate per i licheni apuani (Figura 14). Esiste una fase iniziale a crescita lenta, una fase di crescita esponenziale che arriva a una copertura prossima al 100%. In qualche caso (sito 16) si ha un brusco crollo della crescita forse dovuto all'eccesso di nutrienti come mostrano gli esperimenti di Figura 14.

Pertanto, un trattamento delle superfici marmoree con una soluzione liquida di nutrienti può molto semplicemente assolvere a una duplice funzione contemporaneamente: garantire un minimo di umidità e l'approvvigionamento di sostanze nutritive, favorendo così lo sviluppo della flora lichenica nitrofila, usualmente molto competitiva nei processi di colonizzazione. Altri metodi per favorire la colonizzazione lichenica sono un po' più complessi. I primi organismi che colonizzano le superfici rocciose nude formano una sorta di patina costituita da una matrice extracellulare di polisaccaridi, che favorisce lo sviluppo della colonizzazione. Alcuni studi hanno mostrato che trattare le superfici nude con tale matrice agevola e velocizza la colonizzazione (Kemmling et al., 2003; Gorbushina, 2007).

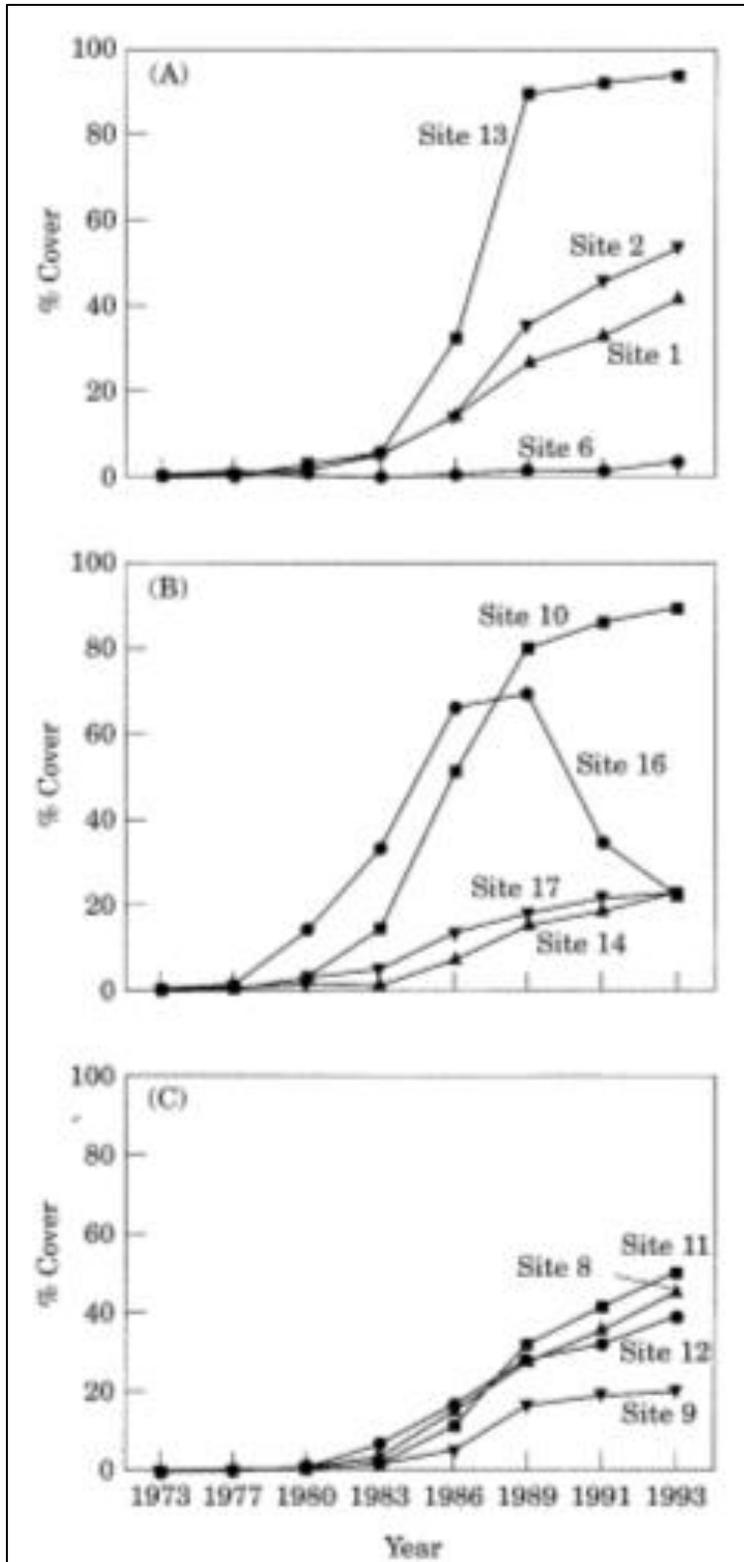


Figura 15 – Colonizzazione di superfici di rocce da licheni sull'isola di Signy per un periodo di 20 anni (Smith, 1995).

Nonostante i licheni siano notoriamente organismi dalla crescita molto lenta, la coltivazione di talli a partire da strutture deputate alla riproduzione vegetativa, che contengono sia il fungo che l'alga, è possibile. In questo senso sono stati effettuati alcuni esperimenti volti a favorire la colonizzazione lichenica nella cava di crisotilo presso Torino di cui si è detto sopra utilizzando inoculi di licheni (Favero-Longo e Piervittori, 2012). Gli esiti dei risultati sono incoraggianti.

Sperimentazioni sulla accelerazione della colonizzazione lichenica su substrato di marmo sono in corso. Il metodo avrebbe i vantaggi di avere costi molto bassi e la possibilità di essere applicato a molte situazioni paesaggisticamente impattanti rappresentate non solo dai ravaneti e dai fronti di cava ma anche dai tagli delle strade di arroccamento ad alta quota spesso visibili da grandi distanze. Inoltre, la facilità di applicazione (irrorazione mediante pompe leggere) permetterebbe di raggiungere zone impervie irraggiungibili dai mezzi meccanici per altri tipi di intervento.

## Bibliografia

- Armstrong R.A. (1974) Growth phases in the life of a lichen thallus. *New Phytologist* 73, 913-918.
- Armstrong, R. (2004). Lichens, lichenometry and global warming. *Microbiologist*, 32-35.
- Armstrong R.A. (2016) Lichenometric dating (lichenometry) and the biology of the lichen genus *Rhizocarpon*: challenges and future directions. *Geografiska Annaler, Sereies A, Physical Geography* 98, 183-206.
- Ascaso C., Galvan J., Rodriguez-Pascual C. (1982) The wheathering of calcareous rocks by lichens. *Pedobiologia* 24, 219-229.
- Beschel, R. (1961). Dating of rock surfaces by lichen growth and its application glaciology and physiography (lichenometry). *Geology of the Artic II* (p. 1044-1062). Toronto: University of Toronto.
- Del Monte, M. (2009). Il biodegrado dei monumenti in pietra: i licheni e i "segni del tempo". *Il Geologo dell'Emilia Romagna*, 11-55.
- Del Monte, M. (s.d.). Organismi pionier e rocce: le patine a ossalati di calcio. Bologna.
- Favero-Longo S.E., Piervittori R. (2012) Cultivation of isidia and transplantation of adult thalli of *Xanthoparmelia tinctoria* in an abandoned asbestos mine. *Lichenologist* 44, 840-844.
- Favero-Longo S.E., Siniscalco C., Piervittori R. (2006) Plant and lichen colonization in an asbestos mine: spontaneous bioattenuation limits air dispersion of fibres. *Plant Biosystems* 140, 190-205.
- Favero-Longo S.E., Accattino E., Benesperi R., Bertuzzi S., Bocca E., Catalano I., Gazzano C., Loppi S., Matteucci E., Paoli L., Ravera S., Roccardi A., Zemo G., 2013. Progetto "Licheni e Beni Culturali Lapidei" del GdL per la Biologia: Licheni e marmo di Carrara. *Notiziario della Società Lichenologica Italiana* 26, 36.
- Gorbushina A.A. (2007) Life on the rocks. *Environmental Microbiology* 9, 1613-1631.
- Hestmark G., Skogedal O., Skullerud Ø. (2004) Growth, reproduction, and population structure in four alpine lichens during 240 years of primary colonization. *Canadian Journal of Botany* 82, 1356-1362.
- Kemmling A., Kämper M., Flies C., Schieweck O., Hoppert M. (2003) Biofilms and extracellular matrices on geomaterials. *Environmental Geology* 46, 429-435.
- Joshi, S. U. (2012). Lichenometry: a technique to date natural hazards. *Earth Science India*, 1-16.

- Matthews, J. a. (2011). Growth rate of very large crustose lichen (Rhizocarpon subgenus) and its applications for lichenometry. *Geografiska Annaler*, 27-39.
- Michael, G. L. (2005). The biology behind lichenometric dating curves. *Oecologia*, 223-229.
- Modenesi P., Lajolo L. (1088) Microscopical investigation of a marble encrusting lichen. *Studia Geobotanica* 8, 47-64.
- Munzi S., Pisani T., Paoli L., Renzi M., Lopi S. (2013) Effect of nitrogen supply on the C/N balance in the lichen *Evernia prunastri* (L.) Ach. *Turkish Journal of Biology* 37, 165-170.
- Nascimbene J., Salvadori O., Nimis P.L. (2009) Monitoring lichen recolonization on a restored calcareous statue. *Science of the Total Environment* 407, 2420-2426.
- Nimis P.L., Salvadori O. (1997) La crescita dei licheni sui monumenti di un parco. Uno studio pilota a Villa Manin. Restauro delle sculture lapidee nel parco di Villa Manin a Passariano. Il viale delle Erme, vol. 4. Quaderni di studi e Ricerche del Centro Regionale di restauro dei beni culturali, p. 109–142.
- Nimis, P. Z. (1988). I licheni endolitici calcicoli su monumenti. *Studia Geobotanica*, 125-133.
- Smith R.I.L. (1905) Colonization by lichens and the development of lichen-dominated communities in the Maritime Antarctic. *Lichenologist* 27, 473-483.
- Webber, P. A. (1973). Lichenometry: Dedicated to the memory of Roland E. Beschel. *Arctic and Alpine Research* , 293-424.
- Welch A.R., Gillman M.P., John E.A. (2006) Effect of nutrient application on growth rate and competitive ability of three foliose lichen species. *Lichenologist* 38, 177-186.
- Winchester, V. C. (2001). Lichenometric dating of slope movements, Nant Ffrancon, North Wales. *Geomorphology*, 61-74.