

Marco D'Orazio\*, Gianluca Cursio\*\*

# I componenti edilizi e il «troppo risparmio energetico»

**La presenza degli organismi biologici, quali alghe o cianobatteri, sui componenti edilizi è stata recentemente acuita dal modo in cui in alcuni casi è stata data risposta all'esigenza di contenimento dei consumi energetici dettata dalle recenti direttive europee**

**S**empre più spesso capita di osservare componenti edilizi, in costruzioni anche molto recenti, «aggrediti» da organismi biologici, quali alghe o cianobatteri. Sebbene tali organismi «vivano» da moltissimo tempo sui componenti edilizi, la loro presenza è stata recentemente acuita dal modo in cui in alcuni casi abbiamo dato risposta all'esigenza di contenimento dei consumi energetici dettata dalle recenti direttive europee (SAVE e NZEB).

L'aver cercato di risolvere le problematiche di contenimento dei consumi energetici agendo sull'introduzione di fortissimi spessori di isolante, ma cercando al contempo di contenere lo spessore complessivo della parete, ha determinato l'introduzione di componenti edilizi costituiti non più, come nel passato, da elementi massivi costituenti la maggior parte della parete associati a isolanti termici, bensì da isolanti termici associati a «pelli» di limitato spessore, soluzioni che con maggiore difficoltà reagiscono alle esigenze di comportamento dinamico dell'involucro.

Tale nuova configurazione costruttiva ha causato un drastico cambiamento nel comportamento dei componenti edilizi di parete e di copertura determinando, per le superfici esterne, condizioni termiche estremizzate (uno strato sottile sopra un isolante si riscalda e si raffredda molto velocemente e può raggiungere condizioni «estreme») e maggiori accumuli d'acqua (l'isolante tende a inibire flussi di acqua e vapore determinando un sovraccarico sulle «pelli»). A riguardo si veda la figura 1. Pertanto sia le condizioni termiche che igrometriche conseguenti alla ricerca della massima efficienza energetica rendono oggi più facile e più veloce l'attecchimento di molti organismi biologici con conseguenze sia per la salute (come

*The presence of biological organisms like algae or cyanobacteria on building components was recently accentuated by some solutions adopted in order to contain energy loss, thus meeting the new requirements of the European directives*



1. Tipico degrado algale su facciata con ETICS (External thermal insulation composite systems) – (Germania).

noto le spore di alcune muffe hanno effetti importanti sulla salute dell'uomo) che per la durata dei componenti edilizi. Di seguito si riporta il primo di tre articoli volti a chiarire: (1) le condizioni che determinano la crescita di questi organismi; (2) l'effetto dato dalla recente introduzione di normative per il contenimento dei consumi energetici; (3) le possibili soluzioni da adottare in termini di progettazione dei componenti edilizi o di loro parti.

Materiali	Umidità Relativa (%)
Legno	75-80
Carta e intonaci plastici	80-85
Isolante minerale	90-95
Isolante EPS	90-95
Cemento	90-95
Laterizi	90-95
Gesso	90-95

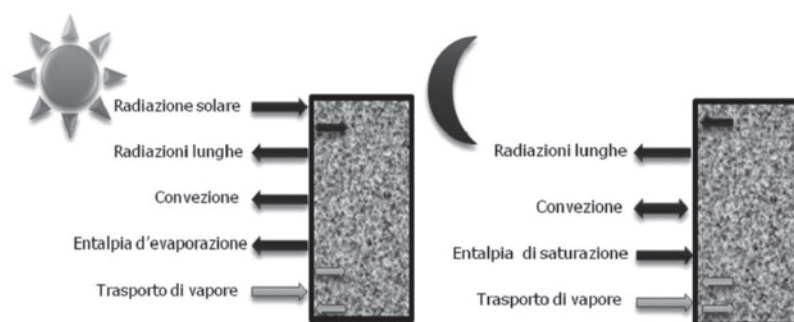
Tabella 1: UR% critica per diversi materiali.

## Organismi biologici e componenti edilizi

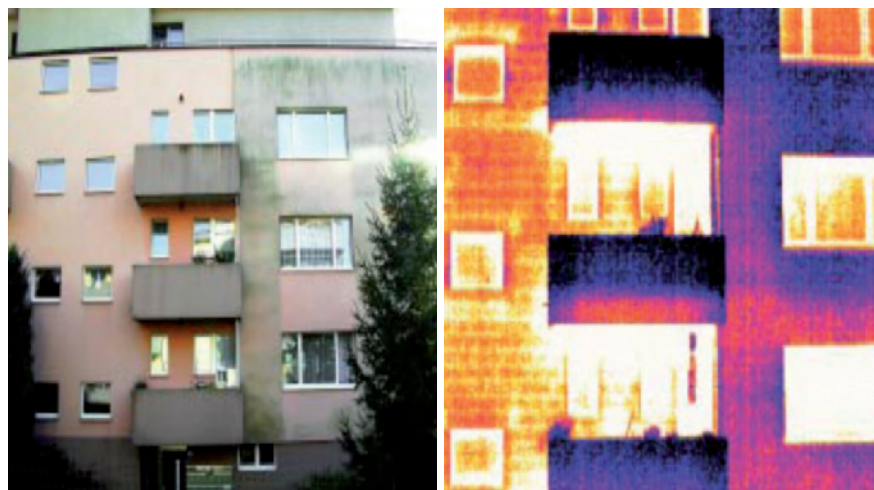
Gli organismi che possono attecchire e proliferare in ambiente esterno su componenti edilizi sono riconducibili a due principali categorie: microalghe e cianobatteri. Le microalghe e i cianobatteri (impropriamente chiamati alghe azzurre, alghe verdi-azzurre o Cianofiticee) sono un Phylum di batteri fotosintetici (1). Sono organismi unicellulari o pluricellulari che possono essere eucarioti (alghe verdi) o procarioti (cianobatteri). Le alghe in quanto organismi autotrofi, attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana, convertono l'energia luminosa in energia chimica<sup>a</sup> riuscendo a sintetizzare composti inorganici come l'anidride carbonica, l'acqua e alcuni elementi ottenendo sostanze organiche che ne garantiscono la sopravvivenza nel lungo periodo (2). Le alghe sono particolarmente resistenti al vento e alle precipitazioni, e sono particolarmente tolleranti all'essiccamento (anidrobiosi), cosa che permette loro di sopravvivere anche se fortemente disidratate (3) riattivando i processi biologici quando l'acqua (4) è di nuovo disponibile. La crescita di specie algali è favorita dalla combinazione di una serie di fattori abiotici e biotici: nutrimento proveniente dal substrato; tipologia di organismi presenti; umidità e altri fattori ambientali (1). Il fattore abiotico più importante per la proliferazione microbica è l'umidità (5), ma se una qualsiasi di queste tre macro condizioni viene a mancare, difficilmente avviene la crescita vegetativa (fig. 2). Classificare le alghe è molto complesso. *Dusbosc et al.* (6) ha suddiviso le alghe in sei rami (per contenuto di cellule e per colorazione). I rami si dividono in classi e a loro volta in ordini, generi e specie. Le due classi osservate più frequentemente sulle pareti, sono i cianobatteri e le microalghe. I cianobatteri sono chiamati impropriamente alghe blu-verdi per via del colore cellulare. Il fatto che questi organismi riescano a colonizzare facilmente materiali edili dipende da una serie di aspetti: la presenza di clorofilla e i pigmenti di colore blu e rosso determinano reattività vitale a bassa intensità luminosa; possono fissare l'azoto; sono caratterizzati da sostanze impregnanti colorate che preservano sia le membrane cellulari sia la mucillagine presente all'interno da eventuali radiazioni solari eccessive. Inoltre, l'igroscopicità dell'involucro cellulare (contenente mucillagine) permette di trattenere l'acqua e sali in essa disciolti, favorendo lo stato di latenza biologico in situazioni di siccità prolungata. Le microalghe sono più complesse dei cianobatteri, contengono cloroplasti riconoscibili grazie a una colorazione verde vivo che li delimita. A differenza dei cianobatteri, le microalghe sono prive di pigmenti accessori e di mucillagine che li protegge dalla disidratazione, pertanto possono sopravvivere solo in ambienti dove l'umidità è costante, inoltre hanno bisogno di un'illuminazione costante e non troppo intensa. Se sono presenti le condizioni favorevoli, le microalghe crescono anche molto velocemente sporcando gli elementi murari con una classica colorazione verde. Infine le microalghe possono talvolta affrontare uno stato di latenza se supportate dalla presenza di cianobatteri.



2. Contaminazione algale su una parete per accumulo di acqua in prossimità dell'innesto parete-tettoia. Il degrado raggiunge un'altezza di 1,60 m.



3. Bilancio energetico giornaliero di una parete tipo.



4. È evidente la più veloce formazione di alghe su superfici fortemente isolate.



5. Contaminazione biologica da parte di microalghe su una facciata leggera.

## Le cause della presenza di micro-alghe e cianobatteri sulle superfici edilizie

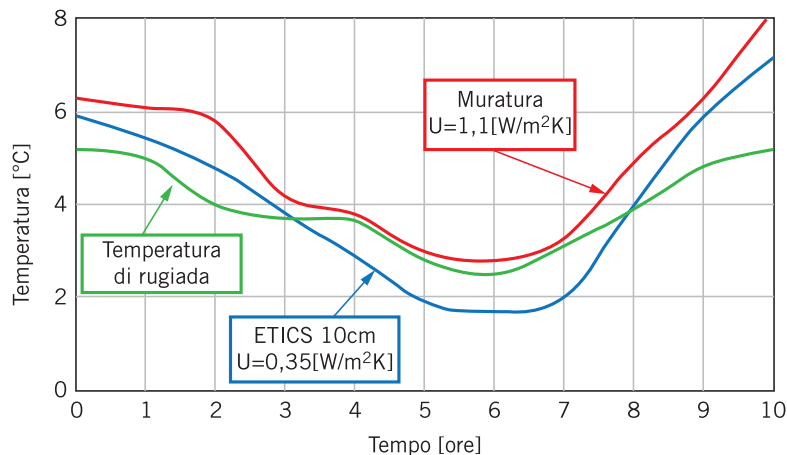
Le cause che determinano la presenza di micro-alghe e cianobatteri sulle superfici sono molteplici, ma tra queste la presenza di umidità (non avendo radici questi organismi assorbono l'acqua attraverso la parete cellulare per osmosi) e un supporto scabroso (in grado di ospitarle) sono le due fondamentali. Le microalghe si sviluppano a una UR%=70-80%, mentre i cianobatteri a una UR% prossima al 100% (7), inoltre le prime necessitano di una temperatura compresa tra 15-50°C (8). Alcuni autori indicano 20-25°C come il range di temperatura ideale (7). Le alghe sfruttano per la fotosintesi, l'acqua, il carbonio e altri elementi che possono provenire del ruscellamento delle acque per eventi piovosi, da fenomeni di condensazione superficiale o a causa dell'inquinamento.

È dimostrato che, in caso di eventi piovosi, la quantità d'acqua resa disponibile durante e dopo un evento piovoso, e quindi la proliferazione algale, dipende fondamentalmente dal substrato, e in particolare dalla sua conformazione geometrica nonché dalla porosità e rugosità che lo caratterizzano, in quanto queste proprietà concorrono a trattenere l'acqua (1) oltre che fornire nutrimento alle alghe (9). Il dilavamento per azione della pioggia contribuisce a sostituire le cellule vecchie con quelle nuove e favorisce l'estensione delle macchie di biofilm ad altre partizioni costruttive non contaminate.

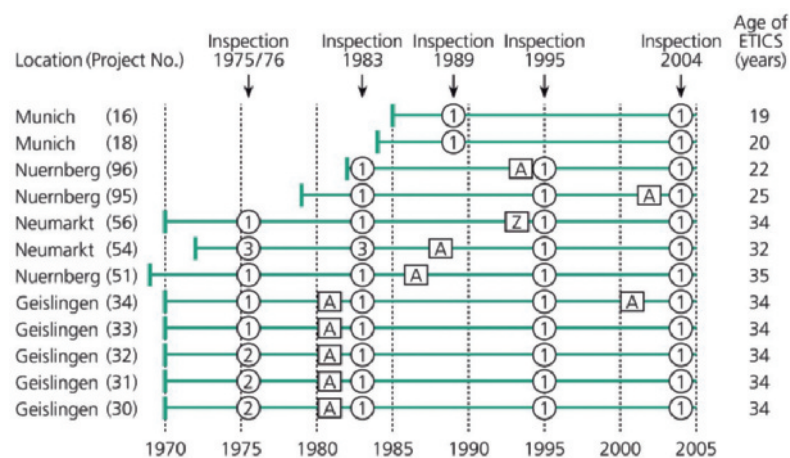
La pioggia contribuisce a fornire spore fungine e alghe alle pareti e consente di raggiungere livelli di UR prossimi al 100%. Una volta che le spore raggiungono le superfici, i picchi d'umidità raggiunti con la pioggia ne facilitano la sporulazione e il processo di crescita *Kunzel* (10).

Anche l'acqua resa disponibile per condensazione superficiale contribuisce allo sviluppo di questi organismi. Ciò si verifica in particolare a seguito dell'abbassamento delle temperature superficiali degli elementi costruttivi in fase notturna rispetto alla temperatura dell'aria («undercooling») *Kunzel* (10). *Blaich* (11) evidenzia che il fattore che agisce sulla superficie esterna abbassandone la temperatura è l'emissione delle onde lunghe, dipendente dall'emissività delle superfici e dalla loro temperatura.

Questo fenomeno è massimo nelle notti limpide (fig. 3). Lo studioso sottolinea che, durante le stagioni fredde (soprattutto sulle pareti esposte a nord e nord-ovest), si possono raggiungere condizioni di condensa che permangono sulle superfici per 15 ore. Tale fenomeno è schematicamente rappresentato in figura 5 ed è particolarmente significativo per edifici fortemente isolati (fig. 4). Studi condotti in Germania (1) dimostrano che sistemi fortemente isolati causano essi stessi la formazione di alghe sulle superfici esterne (fig. 5). Il degrado dovuto a specie algali si manifesta principalmente sulle pareti esposte a nord e nord-ovest (1) che non sono



6. Confronto tra i profili termici superficiali di una parete leggera e massiva non isolata e la temperatura di rugiada.



7. Analisi storica dei difetti rilevati su ETICS. Osservando il grafico si ha: 1 (difetti non visibili), 2 (piccole lesioni nelle zone d'angolo e vicino alle finestre), 3 (maggiori difetti: grandi distaccamenti e delaminazioni), A (nuove facciate), Z (edifici obsoleti risanati con ETICS s=4 cm).

quasi mai raggiunte da radiazione solare nell'arco della giornata. Questa, infatti, può danneggiare i pigmenti fotosintetici delle alghe (8), (1).

Anche la stagione è determinante per la formazione di alghe sulla facciata, infatti durante la stagione calda la superficie esterna tende ad asciugarsi più velocemente contrastando la nascita degli organismi. Qualora però la loro genesi sia avvenuta in periodi più favorevoli, la stagione è decisiva per la sopravvivenza degli organismi: in estate la temperatura superficiale esterna degli edifici può raggiungere temperature prossime a 60°C causando la morte delle cellule algali (8); mentre in inverno temperature inferiori ai 15°C inibiscono il loro sviluppo.

Sedlbauer, *Kunzel et al.* (12) sostengono che i periodi stagionali che facilitano la crescita e lo sviluppo delle alghe sono l'autunno e la primavera (13). *M. Kehrer, T. Schmidt* (14) confermano in un altro studio che le pareti esterne «leggere» aumentano il rischio di formazione di condensa sul lato esterno della parete. *Aelen e Henriques* (15) hanno effettuato studi relativi a pareti a cassetta e pareti massive non isolate giungendo a risultati analoghi. *Johansson* (3), attraverso indagini condotte

a Holviken (Svezia) su edifici di nuova costruzione realizzati con ETICS, rileva evidenti fenomeni di contaminazione da parte di microalghe.

Sedlbauer et al. (16), (17), (18), (19), sulla base di simulazioni termoigrometriche di tipo dinamico, conferma la cattiva performance di sistemi leggeri e quantifica le ore in cui le pareti esterne vanno in undercooling (fig. 6). Sedlbauer et al. concludono che le pareti massive in muratura (favore dall'inerzia termica) presentano in assoluto il miglior comportamento termo-igrometrico, perciò è consigliabile l'utilizzo della massa nelle soluzioni di parete.

Studi sono stati condotti anche in merito all'influenza che biocidi o additivi auto-pulenti (es.  $\text{TiO}_2$ ) all'interno delle pitture possono avere nel ridurre questi fenomeni. Helmuth Venzmer et al. (20) hanno effettuato studi a lungo termine dimostrando che occorrono almeno 18 mesi prima di ottenere alghe visibili a occhio nudo. Tuttavia si evidenzia come la crescita continui a essere fortemente dipendente dalla tipologia di supporto. I materiali di natura organica sono maggiormente esposti all'attacco biologico. Barberousse et al. (9), hanno valutato la suscettibilità alla crescita di microalghe e cianobatteri su diversi rivestimenti esterni di facciate di tipo ETICS. I risultati finali evidenziano che porosità e rugosità sono i parametri che facilitano la crescita di alghe sui materiali.

Ulteriori ricerche sono state condotte con lo scopo di comprendere i danni che possono creare tali organismi biologici. Kunzel (21), interessandosi alle performance a lungo termine di sistemi d'isolamento a cappotto termico, raccoglie e analizza i risultati ottenuti da studi condotti su un campione di ottantacinque edifici (tutti compresi tra Austria e Germania e con vita utile che va da trentacinque e diciotto anni). Kunzel sostiene che il degrado dovuto alle alghe è di natura estetica e si manifesta con la scoloritura delle facciate e con la colorazione verde-grigio tipica di questi organismi (fig. 7). R. Miniotaite et al. (22) conducono delle indagini sulla durabilità delle pitture e confrontano i risultati ottenuti con alcune caratteristiche delle pitture (assorbimento d'acqua e la permeabilità al vapore) evidenziando come i risultati peggiori siano stati ottenuti pitture con alta resistenza alla diffusione del vapore e alta penetrazione di acqua.

## Conclusioni

Le ricerche condotte in ambito nazionale e internazionale consentono di valutare la suscettibilità allo sviluppo di specie algali e di cianobatteri sulle superfici esterne delle facciate. Le cause che enfatizzano queste problematiche sono molte ma in prima analisi la letteratura evidenzia come lo sviluppo di microalghe e cianobatteri è fortemente dipendente dalla tipologia di parete. Le soluzioni costruttive leggere sono più suscettibili allo sviluppo algale rispetto alle pareti massive, perché possiedono minore inerzia termica e minore

capacità di accumulo igrometrico. Anche qui però hanno influenza le caratteristiche dello strato di finitura esterno e cioè del tipo di substrato in termini di porosità, capacità di assorbimento d'acqua, classe di rugosità.

Nel prossimo articolo si riporteranno i risultati di studi di tipo analitico utili a evidenziare gli effetti che le attuali normative per il contenimento dei consumi energetici stanno avendo sulla proliferazione di questi microorganismi. ¶

\* Marco D'Orazio

Professore associato, Università Politecnica delle Marche

\*\* Gianluca Cursio

Ingegnere

Note

a. La reazione complessiva della fotosintesi è:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energia luminosa} \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{calore}$ . Fonte (3)

## Bibliografia

1. Michael Nay, Paul Raschle. Algen und Pilze an Fassaden im Blickwinkel der Forschung. s.l.: EMPA, 2003.
2. Wolfgang Karl Hofbauer, Klaus Breuer und Klaus Sedlbauer et al. Algen, Flechten, Moose und Farne auf Fassaden. Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. Ernst & Sohn Verlag, 2003, Vol. 25, 6.
3. Sanne Johansson. Biological growth on mineral façades. Lund, Sweden: Lund Institute of Technology Division of Building Materials box 118, 2005, Thesis.
4. Sanne Johansson, Lars Wadso, Kenneth Sandin. Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements. Building and Environment. 2010, Vol. 45, p. 1153-1160.
5. Klaus Sedlbauer. Prediction of Mould Fungus Formation on the Surface of and Inside Building Component. Stuttgart, Germany: University of Stuttgart, Fraunhofer Institute for Building, Thesis, 2001.
6. Dusbosc, Arnoud. Etude de developpement de salissures biologiques sur les parements en beton: mise au point d'essais acceleres de vieillissement. Toulouse: These de l'Institut National des Sciences Appliquees de Toulouse, 2000, 591, p. 250.
7. W. Zillig, K. Lenz, Sedlbauer, M. Krus. Condensation on facade-influence of construction type and orientation. [aut. libro] Hiugo Hens e Gerrit Vermeir Jan Carmeliert. Research in Building Physics. s.l.: Swets e Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, 2003, p. 436-444.
8. Ulf Karsten, Rhena Schumman, Nobert Haubner, Thomas Friedl. Aeroerrestische Mikroalgen. Lebensraum Fassade. Biol. Unserer Zeit. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005, Vol. 35, 1.
9. Helene Barberousse, Bertrand Ruot, Claude Yepremian, Gilbert Boulonc. An assessment of facade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria. Building and Environment. 2007, 42, p. 2555-2561.
10. H M Kunzel. Factors Determining Surface Moisture on External Walls. s.l.: ASHRAE-Building X, 2007.
11. J Blaich et al. Algen auf Fassaden. Dübendorf, Schweiz: EMPA-Akademie, 2000. p. 45-68.
12. Hartwig M. Kunzel, Helmut Kunzel, Klaus Sedlbauer. Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen. Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. 2006, Vol. 28, 3, p. 152-163.
13. Algen auf Außenwänden – Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung! M H Kunzel, M Krus, K Sedlbauer. Wismar: s.n., 2001. „Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung“. p. 75-84.
14. Radiation Effects On Exterior Surfaces. Kehr Manfred, Schmidt Thomas. Copenhagen: Carsten Rode, editor, 2008. Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Vol. 1, p. 207-212.
15. Analysis of the condensation risk on exterior surface of building envelopes. Daniel Aelenei, Fernando M.A. Henriques. 26 marzo 2008, Energy and Buildings, Vol. 40, p. 1866-1871.
16. Algenbildung aufgrund Tauwasser an Außenfassaden – Welche Einflussmöglichkeiten gibt es? Klaus Sedlbauer, Martin Krus, Klaus Breuer. s.l.: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2004. Hindelanger Baufachkongress.
17. K., Sedlbauer. Schimmel innen, Algen außen – was ist denn da los? Institut für Bauphysik Universität Stuttgart. Fraunhofer: s.n., 2008.
18. K. Sedlbauer, M. Krus, K. Lenz, M. Paul. Einfluss der Außenwandkonstruktion auf nachtsche Btauung und mikrobiellen Bewuchs. IBP-Bauphysik. 2004.
19. K. Lengsfeld, M. Krus. Microorganism on facade – reason, consequences and measures. Holzkirchen, Germany: Fraunhofer-Institute for Building Physics (IBP).
20. Algal defacement of facade materials—results of long term natural weathering tests obtained by new diagnostic tools. Helmuth Venzmer, et al. 2008. Building Physics 2008 – 8th Nordic Symposium. Vol. 1, p. 277-284 session M3-B.
21. Helmut Kunzel, Hartwig M. Kunzel, Klaus Sedlbauer. Long-term performance of external thermal insulation systems (ETICS). Architectura. 2006, Vol. 5, 1, p. 11-24.
22. Destructive Factors Causing Deterioration of Paints on Buildings Walls. Ruta Miniotaite, et al. 2008. Building Physics – 8th Nordic Symposium. Vol. 1, p. 269-275.
23. Johansson P, et al. Microbiological growth on building materials – critical moisture levels. State of the art. Swedish National Testing and Research Institute. Borås, SP: s.n., 2005.