

Marco D'Orazio*
Gianluca Cursio**

Facciate in laterizio faccia a vista contro il bio-degrado: risultati analitici

Il rischio di degrado biologico per i componenti edilizi è destinato ad aumentare a causa della recente introduzione degli standard NZEB, ma l'utilizzo di elementi tradizionali quali il laterizio faccia a vista può ridurre l'impatto degli agenti patogeni

KEYWORDS Laterizio, Biodegrado, NZEB, ETICS

L'emanazione delle direttive comunitarie (SAVE e NZEB) finalizzate a ridurre drasticamente le emissioni di CO₂ nell'atmosfera ha portato gli stati membri dell'Unione Europea ad adottare normative stringenti in merito alla trasmittanza dei componenti edilizi.

Questa nel futuro dovrà essere sempre più bassa così da arrivare a costruire solo edifici "a energia quasi zero" (Nearly Zero Energy Buildings, NZEB), al netto dell'energia autoprodotta tramite impianti per la climatizzazione con fonti energetiche rinnovabili.

Questi provvedimenti non sono tuttavia privi di conseguenze "secondarie". Ad esempio, realizzare edifici ad energia quasi zero con componenti edilizi fortemente isolati, spesso "leggeri", con ridottissima possibilità di scam-

bio, sia di calore che di vapore, tra interno ed esterno, nonché componenti vetrati a bassa permeabilità all'aria, ha conseguenze sia sul piano della vivibilità degli ambienti interni (qualità dell'aria interna) che sul funzionamento degli elementi costruttivi stessi (durabilità).

Nelle pareti a ridotta trasmittanza termica stazionaria (U), la parte interna della parete, riuscendo a scambiare una ridotta quantità di calore e vapore verso l'esterno, tende a reagire solo alle condizioni climatiche interne, mentre quella esterna, attraversata da ridotti flussi di calore e vapore provenienti dall'interno, è costretta a "lavorare" a condizioni di temperatura e umidità relativa molto più gravose rispetto al passato. Proprio in relazione a quest'ultimo aspetto si è notato in questi ultimi anni un incre-

Clay brick façades against biofouling: analytical results

KEYWORDS Clay brick, Biodefacement, NZEB, ETICS

Clay bricks have been regarded as one of the longest lasting and strongest building materials used throughout history due to their low cost and ease for application.

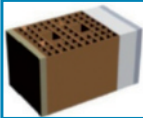

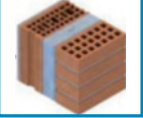


Today, standards towards NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) promote more and more the use of ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) for the construction of new lightweight façades and for energy requalification of ancient buildings.

The consequence is an increase of the biological growth (algae, mould, bacteria) on façades finishing, because of the new mechanisms of heat and vapor transfer from indoors to outdoors. In overinsulated façades, outgoing heat fluxes are strongly limited and are not able to heat the

walls, causing the "undercooling" phenomenon and the condensation on the external finishing. Biological growth rises consequently.

This paper aims to define the dynamic of these phenomena and to evaluate the potential biological growth on brick and ETICS façades (with thermal resistance according to recent standards), under the same environmental conditions.

Results obtained by transient numerical analysis show that façades with ETICS cause more favorable conditions for algal growth. Therefore, for the same environmental conditions (temperature and relative humidity outside), the lightweight construction systems have worse performance, especially compared to brick walls

Nome sintetico	Descrizione	Rif. [6]*	Rif. EOTA**	Rappresentazione schematica
ETICS	Muratura monostrato con isolamento a cappotto	10	ETA 07/0280	
FVM	Muratura pluristrato faccia a vista con mattone in pasta molle e isolante in intercapedine	2	-	
FVE	Muratura pluristrato faccia a vista con mattone estruso e isolante in intercapedine	1	-	
FVE+INT	Muratura pluristrato faccia a vista con mattone estruso, isolante in intercapedine e camera d'aria	8	-	
FVM+INT	Muratura pluristrato faccia a vista con mattone in pasta molle, isolante in intercapedine e camera d'aria	10	-	

* riferimento relativo alle caratteristiche del blocco in laterizio utilizzato e all'intonaco interno; ** riferimento relativo al sistema d'isolamento a cappotto utilizzato.

Tabella 1. Chiusure verticali simulate.

Materiale	S	λ	ρ	μ	R	c	$A\omega$
	m	W/mK	Kg/m ³	-	m ² K/W	J/kg K	kg/m ² s ^{0,5}
Intonaco interno	0,015	0,540	1500	18	0,028	1000	0,18
Blocco in laterizio con ETICS	0,25	0,308*	810**	21	0,81	1000	0,18
Blocco in laterizio	0,12	0,186*	900**	21	0,645	1000	0,18
Laterizio forato	0,12	0,387***	690	19,28	0,31	1000	0,18
Malte collante	0,002	0,8	1344	25	0,0025	1050	0,026
Isolante termico	-	0,036	20	1,80	-	1300	-
Intonaco di staghezza	0,01	0,93	1800	18	0,01	1050	0,026
Malta rasante	0,003	0,75	1350	25	0,004	1050	0,026
Intercapedine d'aria****	0,05/0,04	-	-	193	0,16	1000	-
Mattone in pasta molle	0,12	0,472**	1540**	30,2	0,225	1000	0,28
Mattone estruso	0,12	0,285**	1100**	24,42	0,354	834	0,05

* valore riferito alla muratura; ** valore riferito al singolo elemento; *** valori termici da norma UNI 10355; **** rif. al prospetto 2 comma 5.3.1 della norma UNI EN ISO 6946.

Tabella 2. Proprietà termo-fisiche dei materiali oggetto dell'indagine analitica.

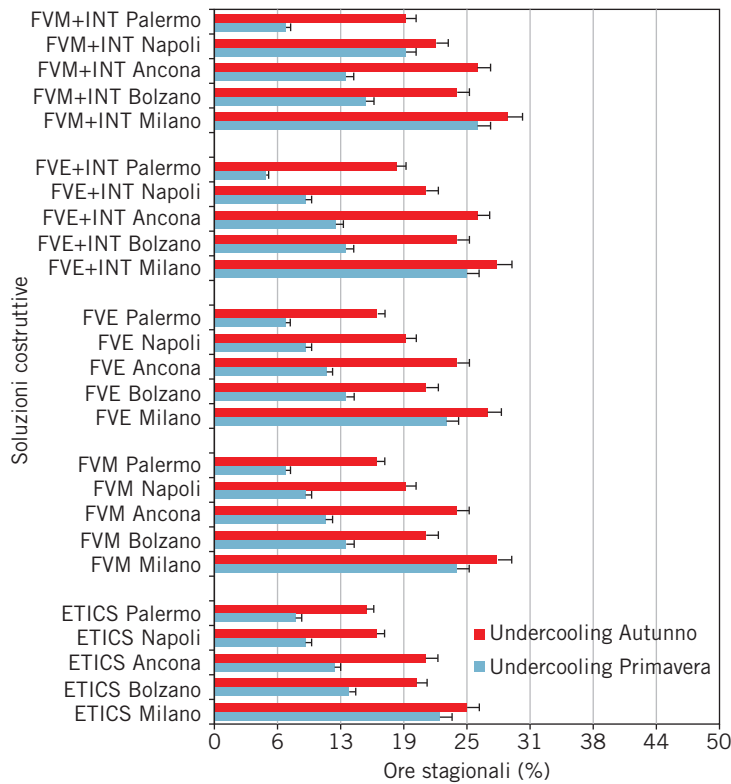
mento dell'incidenza di attacchi biologici proprio sulle superfici esterne. Come noto infatti, microorganismi quali alghe e cianobatteri possono attecchire sull'involucro esterno degli edifici, in relazione a specifiche condizioni termoigrometriche del substrato.

Per cogliere appieno la dinamica di questi fenomeni e la loro incidenza in relazione a diversi sistemi costruttivi, si è condotto uno studio per valutare, sia mediante analisi sperimentale che tramite modelli analitici, il rischio di attacco biologico su diverse tipologie di pareti realizzate in ottemperanza ai requisiti NZEB. Di seguito si riporta, in

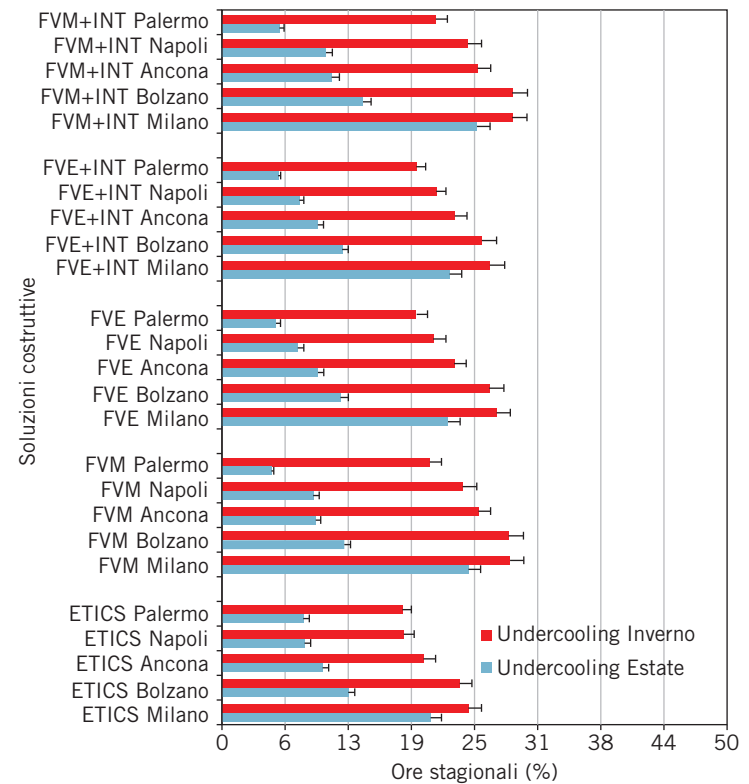
particolare, la valutazione analitica dell'influenza delle prestazioni termoigrometriche di diversi sistemi costruttivi sul manifestarsi di condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo di alghe e cianobatteri.

Metodologia

Si sono analizzate cinque diverse tipologie di pareti stratificate, quattro delle quali con isolante in intercapedine (con e senza camera d'aria aggiuntiva) e faccia a vista in laterizio (sia estruso che in pasta molle) e una realizzata con cappotto termico esterno (ETICS, External Thermal



1. Potenziale di undercooling, riportato per diverse pareti analizzate nelle cinque zone climatiche, ovvero, percentuale di ore dell'anno in cui la temperatura superficiale esterna della parete risulta al di sotto della temperatura dell'aria esterna. Il potenziale è riportato per le pareti analizzate nelle diverse zone climatiche durante le stagioni Autunno e Primavera.



2. Potenziale di undercooling, riportato per diverse pareti analizzate nelle cinque zone climatiche, ovvero, percentuale di ore dell'anno in cui la temperatura superficiale esterna della parete risulta al di sotto della temperatura dell'aria esterna. Il potenziale è riportato per le pareti analizzate nelle diverse zone climatiche durante le stagioni Estate e Inverno.

Insulation Composite Systems). Le pareti sono state analizzate in cinque differenti località italiane (Bolzano, Milano, Ancona, Napoli, Palermo), considerando i requisiti di trasmittanza limite di legge in relazione alle diverse zone climatiche di appartenenza (ottenuti facendo variare lo spessore di isolamento termico necessario).

In tabella 1 è riportato il quadro generale delle differenti tipologie di pareti testate, mentre in tabella 2 sono indicate le proprietà termo-fisiche dei materiali.

Gli studi sono stati condotti con il software di analisi termoigrometrica in regime dinamico CHAMPS-BES sviluppato dalla Syracuse University (USA), che è stato validato sperimentalmente dall'Università Politecnica delle Marche, grazie a numerose ricerche condotte in passato su queste tematiche.

Con lo strumento di calcolo si è analizzato in particolare il trasporto congiunto di aria, acqua, vapore e calore, considerando sia le proprietà resistive che inerziali dei materiali, nonché le influenze reciproche tra le variazioni delle varie grandezze.

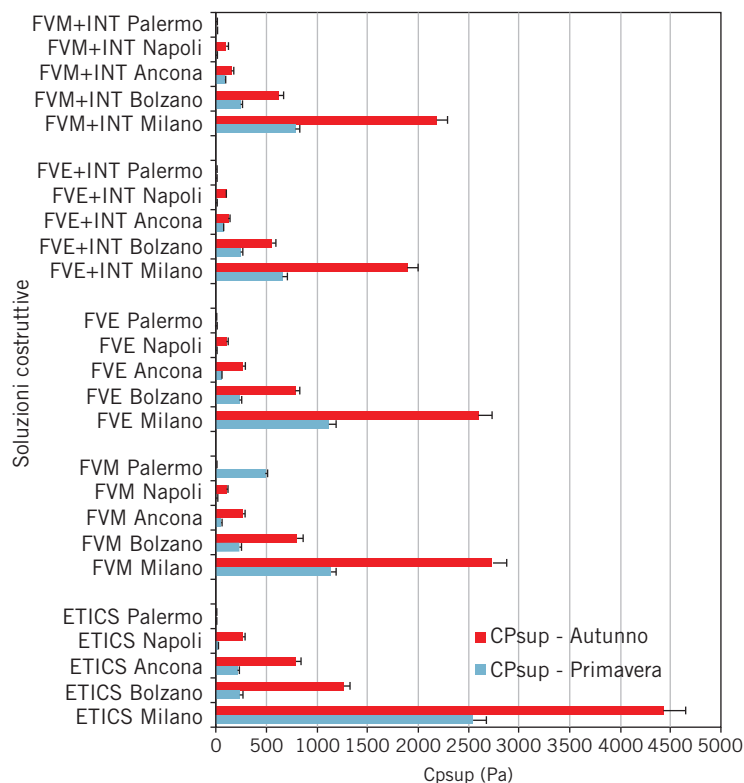
Le simulazioni sono state condotte, imponendo come condizioni al contorno esterne quelle specifiche delle diverse località climatiche considerate, considerando che lo sviluppo algale è connesso principalmente alle variazioni dei

contenuti d'acqua esterni (eventi piovosi, condensazione superficiale, ecc.). Come condizioni al contorno interne, si sono assunte quelle definite dal DPR 59/09 articolo 17. Il periodo di tempo simulato è stato di 5 anni, un tempo cioè tale da permettere ai muri di equilibrarsi con l'ambiente circostante e raggiungere così il comportamento di regime. Le simulazioni sono state condotte ipotizzando per le pareti una esposizione verso nord (condizione peggiorativa) [1].

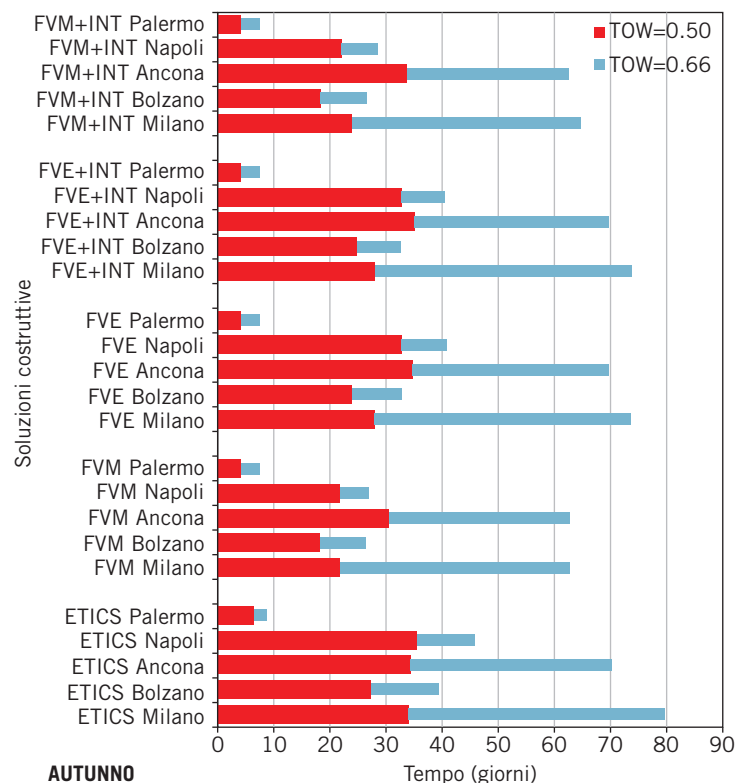
I risultati sono stati espressi con tre grandezze utili a definire le potenzialità di sviluppo di specie algali, ovvero: il potenziale di undercooling, il potenziale di condensazione ed il TOW (time of wetness).

Il Potenziale di undercooling rappresenta il numero di ore dell'anno in cui la temperatura superficiale esterna della parete risulta al di sotto della temperatura esterna dell'aria (a causa dei fenomeni di re-irraggiamento verso la volta celeste, soprattutto in fase notturna). In letteratura diversi studi su pareti [2] o coperture [3] si sono interessati di questo fenomeno, poiché è ritenuto la principale causa della formazione di condensa superficiale in relazione a ridotti valori di trasmittanza termica dei componenti edilizi.

Il potenziale di condensazione [3,4], di seguito definito CPsup (Pa), rappresenta il tempo di possibile condensa-



3. Potenziale di condensazione CPsup (Pa), calcolato come somma delle differenze tra la pressione di vapore dell'aria (PV_{ARIA}) e la pressione di vapore di saturazione della superficie esterna del componente (PV_{SAT}). Il potenziale è riportato per le pareti analizzate nelle diverse zone climatiche durante un anno di calcolo.



4. TOW (time of wetness), espresso come periodo di tempo (in giorni in un anno) in cui l'umidità relativa superficiale esterna delle pareti analizzate è superiore ad un valore limite. Gli indici riportati TOW50 e TOW60, sono stati definiti sperimentalmente da precedenti ricerche, attraverso test accelerati con cicli giornalieri di bagnatura (TOW50 si riferisce a 12 ore di bagnatura con UR al 97% e TOW66 a 16 ore di bagnatura con UR al 97%).

zione superficiale esterna, calcolato come differenza tra la pressione di vapore dell'aria (PV_{ARIA}) e la pressione di vapore di saturazione della superficie esterna del componente (PV_{SAT}).

Il TOW (time of wetness) rappresenta il numero di ore in cui l'umidità relativa superficiale esterna è superiore ad un valore limite $UR = XX\%$ specifico in relazione a diverse specie algali (tab. 3). Se la condizione limite, indicata come TOWXX (dove XX va sostituito con l'UR% considerata. Ad esempio con UR 50% sarà TOW50), è mantenuta per un elevato numero di ore giornaliere, si innalza il rischio di sviluppo di microrganismi sulle superfici.

Altri autori sottolineano l'importanza non solo della permanenza al di sopra della condizione limite, ma anche della ciclicità delle condizioni di UR superficiale (ripetizione di periodi di bagnatura e di asciugatura) [4,5]. Pertanto essi a partire da test sperimentali accelerati (tab. 4) individuano negli indici TOW50 e TOW66 le condizioni critiche per lo sviluppo di microrganismi.

Risultati

Lo sviluppo biologico sull'esterno dei componenti costruttivi è principalmente legato alla presenza d'acqua, sia piovana che di condensazione. Mentre la prima interviene

per periodi limitati di tempo, la seconda può avere una frequenza quotidiana in fase notturna, in relazione ai noti fenomeni di undercooling, acuti in presenza di una ridotta trasmittanza dell'involucro.

Per valutare questo aspetto si è analizzata la durata temporale dei fenomeni di undercooling durante le diverse stagioni. Le figure 1 e 2 riportano la percentuale delle ore nelle quali si prevedono fenomeni di undercooling per le pareti prese in considerazione, rispettivamente nelle stagioni autunno-primavera e inverno-estate. Le analisi condotte evidenziano differenze poco significative tra le diverse soluzioni costruttive.

A parità di località e considerando le stagioni intermedie in figura 1 (più affini allo sviluppo algale) la percentuale di ore stagionali nelle quali si verificano fenomeni di undercooling è del 15-25 %, con differenze tra le diverse soluzioni dell'ordine delle unità.

Il fenomeno dell'undercooling fornisce informazioni sull'intervallo temporale nel quale è possibile la formazione di condensa, ma da solo non permette di quantificare di per sé quella superficiale esterna.

Data la sostanziale equivalenza dei risultati ottenuti si è quindi proceduto all'analisi del potenziale di condensazione annuale CPsup (Pa) delle pareti. In figura 3 si ri-

Umidità relativa	Tempo (h /anno)	Tempo (gg /anno)
> 60-70%	1052	49
> 70-80%	666	28
> 80-90%	135	6
> 90%	16	0,66

Tabella 3. Abaco con i tempi di crescita di microorganismi sulle superfici dei componenti edilizi in funzione dell'UR% ambientale.

Ciclo di UR – test accelerato in laboratorio	Frequenza giornaliera (f)	TOW	
2 h al 97% UR e 10 h al 58% UR	2	0,17	
4 h al 97% UR e 8 h al 58% UR	2	0,33	
6 h al 97% UR e 6 h al 58% UR	2	0,50	TOW50
8 h al 97% UR e 4 h al 58% UR	2	0,66	TOW66

Tabella 4. TOW sperimentalmente in seguito ai test accelerati in laboratorio.

Indici di performance		Chiusure verticali simulate				
		ETICS	FVM	FVE	FVE+INT	FVM+INT
CPsup		1°	5°	2°	3°	4°
TOW66		1°	5°	2°	3°	4°

Tabella 5. Classificazione di “Indice di rischio biologico” per le pareti analizzate, secondo i parametri CPsup e TOW66.

portano i risultati in autunno e primavera: è evidente una prestazione maggiormente diversificata tra le diverse soluzioni costruttive. In particolare, si verificano elevati valori di CPsup per la parete leggera (con isolante a cappotto), soprattutto nelle zone climatiche più fredde, con maggiore possibilità di attecchimento e crescita di organismi biologici.

Si può concludere pertanto che, pur essendo simile la durata in cui si verificano fenomeni di undercooling per le pareti, la quantità d'acqua che i diversi sistemi costruttivi rendono disponibile per l'attecchimento e la crescita degli organismi biologici stessi è fondamentalmente differente. Le pareti pluristrato con laterizi sul lato esterno manifestano prestazioni simili tra loro.

Si evidenzia tuttavia come le pareti realizzate con mattone in pasta molle FVM presentano esternamente una minore quantità di acqua condensata, anche grazie alla struttura porosa del materiale, che agisce da “tampone igroscopico”. Il laterizio di per sé è, infatti, in grado di adsorbire e rilasciare l'acqua di condensa in relazione alle diverse condizioni ambientali esterne. Redistribuendosi all'interno del materiale, l'acqua si riduce sulla superficie, garantendo quindi condizioni meno favorevoli all'attecchimento delle alghe e dei cianobatteri.

Tanto il potenziale di undercooling che il potenziale di condensazione rappresentano, come suggeriscono le denominazioni, un “potenziale” manifestarsi di un fenomeno

ma non sono ancora in grado di determinare l'effettivo rischio biologico. Per valutare questo “rischio”, come suggerito da alcuni autori, si è analizzato quindi il TOW, come precedentemente definito. La figura 4 riporta a tal fine il TOW50 e il TOW66 per ciascuna soluzione costruttiva. Dai risultati si confermano le indicazioni già ottenute attraverso il potenziale di condensazione. In particolare, si evidenzia il ruolo positivo che sistemi costruttivi di tipo capacitivo (in grado cioè di accumulare e rilasciare acqua) possono avere nel ridurre i contenuti d'acqua superficiale e conseguentemente ridurre il rischio di formazione di specie algali sull'esterno. I maggiori rischi di proliferazione algale si manifestano durante la stagione autunnale poiché questa è generalmente caratterizzata da giorni ad elevata UR ambientale. In queste situazioni si può verificare un repentino sviluppo di cianobatteri in meno di un giorno.

In tabella 5, si riassumono le prestazioni delle soluzioni costruttive analizzate dal punto di vista del CPsup e del TOW66, ottenendo una classificazione di “indice di rischio biologico”.

Conclusioni

Le ricerche presentate hanno permesso di comprendere l'influenza delle condizioni ambientali sullo sviluppo di microorganismi sulle superfici esterne di componenti edilizi, in relazione a diverse modalità costruttive.

I calcoli analitici eseguiti in regime dinamico, attraverso appositi software, evidenziano che soluzioni costruttive leggere, caratterizzate da un cappotto termico e rasante esterno, determinano condizioni più favorevoli alla proliferazione algale. Pertanto a parità di fattori ambientali (temperature e umidità relative esterne), i sistemi costruttivi leggeri hanno una peggiore prestazione, soprattutto rispetto a paramenti murari faccia a vista in laterizio. ¶

* *Marco D'Orazio*

Professore Ordinario, Università Politecnica delle Marche

** *Gianluca Cursio*

Ingegnere Civile Edile

Bibliografia

- [1] M. D'Orazio, G. Cursio, I componenti edilizi e il «troppo risparmio energetico», *Costruire in Laterizio* 154 (2013), 52-55.
- [2] P. Raschle, R. Büchli, *Algen auf Fassaden*, EMPA-Akademie, Dübendorf, 2000.
- [3] R. Zheng, *Performance of highly insulated Zinc Roofs in moderate humid regions*, Katholieke Universiteit Leuven, dissertation, 2004.
- [4] O.G.C. Adan, *On the Fungal Defacement of Interior Finishes*. Eindhoven, dissertation, 1994.
- [5] J. Wierzbos, B. Camara, A. De Los Rios, *Microbial colonization of Ca-sulfate crusts in the hyperarid core of the Atacama Desert: implications for the search for life on Mars*, *Geobiology* 9 (2011), 44-60.
- [6] C. Monticelli, *Prestazioni termiche e acustiche di soluzioni d'involucro in laterizio faccia a vista*, LaterService - ANDIL, Roma, 2009.