

IPERISOLAMENTO E QUALITÀ DELL'ARIA



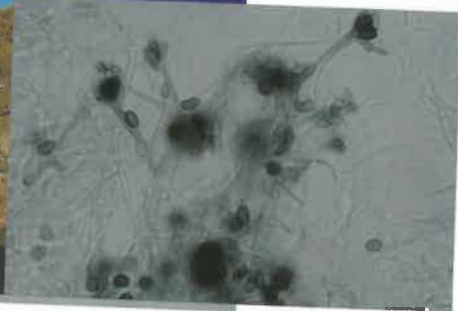
Involucri iperisolati e serramenti a tenuta: effetto indesiderato, forse l'unico, il quasi totale annullamento della permeabilità. Così si formano muffe nei punti a maggiore trasmittanza. Uno studio dell'Università di Ancona

M.D'Orazio, M.Palladini



Gli obiettivi progettuali in tema di risparmio energetico (vedi box), rischiano di creare condizioni ambientali interne, in termini di Umidità Relativa percentuale sicuramente favorevoli allo sviluppo di muffe all'interno delle abitazioni, vista anche la tendenza ad usare supporti (finiture interne) costituiti da leganti organici con conseguenze che possono essere deleterie per la salute degli abitanti.

In alto, complesso residenziale "Rosenbach" a Bolzano. Si tratta di un edificio iperisolato con una capacità isolante di 60 kwh/m². L'isolamento è stato utilizzato con fibre di cellulosa (25 cm). Le lastre di chiusura interna sono realizzate con pannelli di OSB di 22 mm e all'esterno con pannelli DWD da 16 mm (Modulo, 295, ottobre 2003, pag. 852).

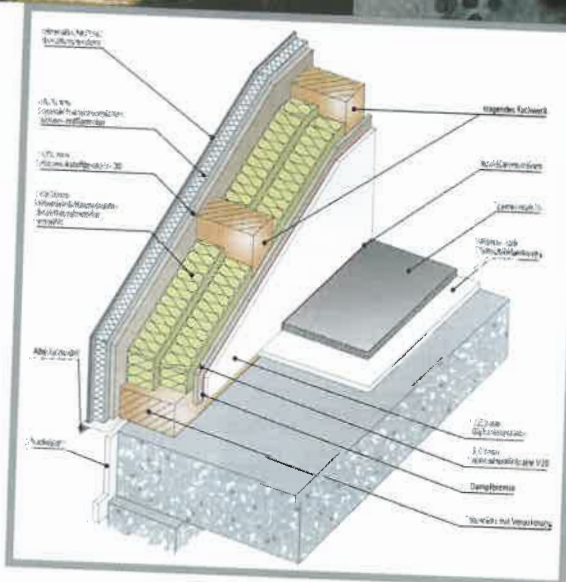


Le pareti iperisolate rendono difficilmente eliminabili le zone a maggiore trasmittanza rispetto alle pareti correnti (es. spallette delle finestre, ecc...). Anzi su queste si concentreranno i problemi legati allo sviluppo di muffe, i cui effetti, vale la pena di ricordare, sono malattie anche gravi a carico dell'apparato respiratorio, soprattutto per bambini e anziani.

Al centro, immagine ingrandita di *Aspergillus versicolor*, muffa che produce una grande quantità di microtossine.

Per valutare la fondatezza di tale rischio, si è condotto uno studio con l'obiettivo di mettere in relazione la riduzione della permeabilità all'aria degli infissi (adozione di una classe 4), le condizioni ambientali interne e la possibile insorgenza di muffe sulle superfici dell'involucro edilizio. Lo studio è stato condotto in 3 fasi. Si è in primo luogo valutato l'innalzamento atteso delle condizioni di UR interna, quindi si sono condotte analisi sperimentali volte a valutare la velocità di crescita di 3 specie di muffe su diversi supporti (intonaci, finiture, pitture). Infine, con i dati sperimentali, si è condotta una serie di simulazioni

Sotto, a sinistra, casa a basso consumo energetico, iperisolata (Modulo 295, ottobre 2003, pag. 838); a destra, immagine di *Stachibotrys Chartrarum*, una delle muffe a maggior tasso di tossicità.



In basso, spaccato assonometrico di un muro leggero, in struttura di legno, con cappotto esterno, finito a intonaco (Haas Fertigbau) (Modulo, 315, ottobre 2005, pag. 915).

Un contesto in evoluzione: contenimento dei consumi vs permeabilità?

La recente introduzione del DL 311 a modifica del DL192 sta determinando, come noto, una radicale trasformazione delle tecnologie dell'involucro edilizio. La richiesta di contenere i consumi energetici e le emissioni di CO₂ ha portato infatti ad un abbattimento dei valori di trasmittanza delle pareti verticali e delle coperture. In particolare nel 2010, secondo il DL citato, i componenti dell'involucro dovranno raggiungere, per le pareti verticali, valori limite compresi tra 0.67 e 0.33 W/m²K in relazione alla zona climatica di appartenenza. Mentre alle coperture è richiesto il raggiungimento di valori di trasmittanza compresi tra 0.38 e 0.29 W/m²K.

Questi valori risultano bassi al punto che le tradizionali tecnologie di involucro basate su spessori limitati di isolante (4 cm) non saranno più sufficienti e sarà necessario incrementare lo spessore di isolamento a valori compresi tra 8 e 12 cm in relazione alla zona di appartenen-

za. Questi spessori aprono dunque in Italia la strada al super-isolamento, strategia di contenimento dei consumi energetici già adottata in paesi del centro-europa e utilizzata con esperienze diverse.

L'utilizzo di spessori di isolamento così elevati rischia tuttavia di avere effetti indesiderati sulle condizioni ambientali che si verranno a creare negli ambienti abitativi. Ne è scaturito un forte dibattito tra gli operatori del settore relativo all'opportunità di adottare passivamente tale nuova strategia costruttiva in un paese, come l'Italia, per il quale rischiano di essere molto più rilevanti, sia in termini ambientali che economici, le problematiche relative al surriscaldamento estivo piuttosto che il contenimento dei consumi energetici in fase invernale.

Un aspetto che ancora non emerge in tale dibattito è l'inevitabile riduzione di permeabilità che questa strategia determinerà per le pareti

e le coperture. 10-12 cm di EPS significano un Sd di ca. 6 m d'aria equivalenti e oggi i nostri sistemi a malapena raggiungono un Sd di 1.5 m. Quindi avremo sistemi costruttivi 5 volte meno permeabili.

Questa riduzione di permeabilità peraltro si associa ad un altro evento non positivo in termini di permeabilità dell'involucro, quale l'obbligo di marcatura CE per gli infissi (UNI EN 12207/2000). Questa norma porta a riclassificare le prestazioni delle finestre e molti produttori, viste le forti richieste di contenimento energetico stanno introducendo sul mercato infissi ad alte prestazioni termiche, le cui migliori proprietà termiche non sono legate soltanto alla bassa trasmittanza del sistema vetro/telaio ma anche ad una ridottissima permeabilità dell'infisso stesso (classe A4).

Quindi non solo pareti ma anche finestre meno permeabili.

con il software WUFI-BIO del Fraunhofer Institute che hanno chiarito il comportamento di diverse soluzioni costruttive per l'involucro in diversi contesti climatici. I risultati evidenziano come la riduzione di permeabilità dell'involucro determina un peggioramento della qualità dell'aria all'interno degli edifici.

La ricerca mette in evidenza le potenzialità di sviluppo delle muffe; le condizioni ambientali dei nuovi contesti abitativi costituiscono uno dei substrati ottimali per la crescita delle muffe stesse.

Muffe "domestiche"

Negli edifici è possibile trovare centinaia di diverse specie di muffe, e buona parte di queste sono

tossiche per la salute dell'uomo. In base alla letteratura esistente, quelle che si riscontrano più di frequente possono essere ricondotte a tre diverse specie.

Affinché le muffe possano crescere e sporulare sono necessarie quattro condizioni:

- disponibilità di ossigeno;
- range di temperatura adatta;
- substrato di deposito che costituisca nutrimento
- umidità al di sopra di determinate soglie per ogni specie fungina.

Tra queste quelle più significative sono le caratteristiche del substrato (come nutrimento) e il livello di umidità.

Alcuni studi recenti hanno evidenziato come,

Denominazione	Caratteristiche	Insedimento	Effetti
Apergillus versicolor	E' in grado di sopravvivere anche su materiali che non offrono abbondanti nutrienti come calcestruzzo od intonaci. Si presenta si colore verde con diverse sfumature	All'interno degli edifici	Produce una grande quantità di micotossine potenzialmente cancerogene
Penicillium chrysogenum	E' la specie più comune. E' di colore bianco	All'interno degli ambienti. Per lo sviluppo del micelio il range di temperatura che possa permettere la crescita è compreso tra -4°C e 38°C con una temperatura ideale di 28°C. Per quanto attiene all'umidità relativa del substrato i limiti minimi sono rispettivamente 78% e 79% per la germinazione e per la crescita del micelio, quelli di ottimo 79% e 98%	Genera una sola tossina: l'acido secalonico D, ma fortunatamente è difficile rintracciarla nell'ambiente indoor E' più facile trovare altri prodotti del suo metabolismo che però sono debolmente tossici.
Stachybotrys chartarum	Una delle specie più tossiche	All'interno degli ambienti. Richiede, per la germinazione delle spore una temperatura compresa tra 5°C e 40°C; mentre per la crescita del micelio il range è compreso tra 2°C e 37°C. Per quanto attiene all'umidità relativa del substrato i limiti minimi sono rispettivamente 85% e 89% per la germinazione e per la crescita del micelio, quelli di ottimo 97% e 98%	Si associa all'IPH (Idiopathic pulmonary hemosiderosis). La grande tossicità di questa muffa deriva dalla biomassa rilasciata dalle zone infestate da questo fungo contenente una elevata quantità di prodotti secondari del suo metabolismo rispetto alle altre muffe che si sviluppano in ambienti indoor

sebbene le muffe possano crescere a temperature comprese tra 0°C e 40°C, un range di temperatura da 22°C a 35°C può ritenersi ottimale per le specie più importanti che si localizzano all'interno degli edifici. Il livello di spore aerotrasportate nell'ambiente indoor, una delle condizioni richieste per la crescita di funghi, è invece dipendente dal periodo stagionale dell'ambiente esterno. Gli edifici che offrono condizioni favorevoli di temperatura per la germinazione e la crescita di funghi, su materiali da costruzione e finiture interne, sono in numero considerevole; infine, di recente, è stato compiuto un importante lavoro di ricerca e di sviluppo su modelli capaci di stimare la crescita di muffe all'interno delle abitazioni, classificando i vari materiali in classi in relazione alla loro suscettività a favorire o meno lo sviluppo di specie fungine.

E' stato dimostrato che il limite di umidità relativa di equilibrio è compreso in un range che va dal 71% al 94% a seconda della specie fungina.

Per quanto riguarda la capacità nutritiva del supporto poche sono le informazioni. Sono stati condotti esperimenti su materiali composti di legno (tavole in truciolare, tavole in fibra di legno e compensato), materiali composti (tavole di gesso e conglomerato cementizio) e materiali da isolamento (lana di vetro e lana di roccia) esaminati in diverse condizioni di temperatura e umidità relativa. I risultati mostrarono che tutti i materiali di un edificio possono contribuire alla crescita di muffe se la loro umidità relativa raggiunge il 90%.

Sulla base di ricerche precedenti, i materiali da costruzione edili sono stati suddivisi in quattro classi a seconda del tipo di substrato rispetto al nutrimento che è in grado di fornire al fungo.

Tale classificazione tuttavia tende ad omogeneizzare eccessivamente materiali tra loro differenti per tipologia di legante e per quantità di sostanze organiche contenute, aspetto questo, invece, fondamentale nel determinare velocità molto differenti di crescita delle muffe sulle superfici.

Da tale limitatezza di studi specifici sui materiali è derivata l'esigenza di ampliare la conoscenza anche a materiali differenti, cercando di stabilire una relazione tra composizione degli stessi in contenuto di sostanze organiche e velocità di crescita delle muffe.

La sperimentazione

Al fine di avere i dati per utilizzare il modello di calcolo si è condotta una sperimentazione facendo crescere 3 specie fungine su 8 differenti sup-

Allarme o allarmismo?

Due parole con Marco D'Orazio, Istituto di edilizia, Università degli studi di Ancona

Modulo: E' corretto prospettare la presenza di muffe come conseguenza delle recenti strategie energetiche, ma non c'è un eccesso di allarmismo nel citare la patogenicità delle muffe, che in alcuni casi vengono definite cancerogene?

M. D'Orazio: Direi di sì, visto che è ampiamente dimostrata la correlazione tra malattie a carico dell'apparato respiratorio e presenza di muffe nelle abitazioni e visto che, ad esempio l'*aspergillus versicolor*, frequente nelle abitazioni, può produrre micotossine per le quali esistono dati clinici sulla potenziale cancerogenicità.

Modulo: Lo studio non fa riferimento ad aspetti quantitativi, perchè un conto è la comparsa di qualche traccia di muffa, un conto un'intera parete interessata...

M. D'Orazio: Va tenuto conto che la velocità di crescita delle muffe è straordinaria, almeno nelle zone nelle quali si creano le condizioni ambientali adatte. Ad esempio, dopo 15 giorni di esposizione in camera climatica una superficie significativa della pittura a tempera utilizzata risultava già coperta.



porti. I risultati delle osservazioni effettuate sia a vista che a microscopio laser, sono riassunti nel box della pagina a fianco, dove si riporta per ogni tipo di supporto l'indice di crescita che si riferisce alla specifica specie fungina inoculata sul provino. L'indice di crescita, rappresenta il valore di crescita che viene attribuito ad una specie fungina che si sviluppa sopra un determinato supporto in funzione della percentuale di superficie ricoperta dalla muffa dove è stato eseguito l'inoculo.

Come si può osservare l'indice di crescita rilevato per le varie tipologie di supporti, indipendentemente dal tipo di specie fungina è riconducibile a classi visibili solo in osservazione con microscopio. Fa eccezione il campione F (pittura a tempera) per il quale la crescita è stata visibile a occhio nudo. Le differenze nell'indice di crescita in relazione alla specie fungina appaiono limitate. Come atteso la specie che appare attecchire più velocemente è lo *S. Chartarum*, che trova a queste temperature ed umidità un clima ideale per il suo sviluppo. In figura 3 è riportato un montaggio delle riprese effettuate con il microscopio relativamente alle diverse specie fungine sui diversi tipi di supporto.

In ultima fase è stato correlata la perdita in massa a 200°C con la percentuale di superficie coperta dalle muffe per ciascun tipo di supporto. Tale determinazione, effettuata per evidenziare il possibile legame della velocità di crescita con il contenuto di sostanze organiche, ha permesso

di evidenziare come sia rilevabile una correlazione di tipo lineare tra velocità di crescita delle specie fungine e contenuto di sostanze organiche. Sebbene esista una certa dispersione dei dati per gli intonaci ed i rasanti (caratterizzati da un contenuto di sostanze organiche limitato) appare evidente come il tipo di substrato, in termini di capacità di fare da nutrimento per le specie fungine sia il fattore dominante nello sviluppo e nella crescita delle specie fungine analizzate. Osservando i dati divisi per specie fungina si può rilevare quanto segue: la specie fungina dello *S. chartarum* è stata quella che mediamente ha avuto il maggiore sviluppo sulle diverse tipologie di supporto seguita dal *P. chrysogenum* e *A. versicolor*. Essa risulta essere, tra tutte, anche la specie più tossica per la salute dell'uomo.

E' interessante notare che sebbene i vari tipi di intonaco e rasante appartengano alla medesima classe di substrato, in realtà i risultati sono stati abbastanza disomogenei tra di loro, con differenze tal volta marcate. Analogo discorso può essere effettuato a carico delle pitture.

Analisi delle soluzioni costruttive

Grazie ai dati ricavati sperimentalmente è stato possibile condurre una serie di simulazioni volte a comprendere la possibilità di sviluppo di muffe sulle varie superfici ed in diversi contesti climatici. Per valutare la probabilità di crescita di muffe sulle superfici interne, sono state comparate le condizioni di crescita biologica delle specie fungine esaminate nella prima fase sperimentale con le condizioni igrotermiche superficiali per mezzo di un software di calcolo denominato Wufi-BIO, prodotto e sviluppato dal Fraunhofer institute for building physics. Le simulazioni sono state condotte per due tipologie di sistemi di tamponamento esterno che oggi trovano, in Italia, la diffusione maggiore:

- muratura con isolamento in intercapedine;
- muratura a cappotto.

Su queste la valutazione è stata effettuata nella zona corrente della parete ed in zone di possibili ponte termico (spalletta finestra; pilastro) sia nella condizione operativa attuale che nella condizione di spessore di isolamento derivante dagli obblighi del D.Lgs. 192/2005. Si sono considerati i climi di tre differenti città:

Quanto crescono le muffe

Montaggio delle riprese effettuate con il microscopio a fluorescenza con obiettivo 5X. Il microscopio laser utilizzato è in grado di individuare la presenza di microrganismi sfruttando la proprietà degli stessi ad emettere "nel verde" ad una lunghezza d'onda di 520 μm una volta che essi vengano sollecitati da una luce blu con una lunghezza d'onda di 488 μm .

Analizzando le riprese effettuate sugli intonaci si può notare che il campione B (legante: 50% NHL + 50% cemento bianco; inerti: silicei + perlite) ha presentato il supporto più "nutriente" per le tre specie fungine rispetto a quello del campione A (legante: 50% NHL-Z + 50% cemento bianco; inerti: silicei). Per quest'ultimo lo sviluppo di organismi patogeni è stato abbastanza limitato, soprattutto se si considera che le riprese si riferiscono alla zona in cui è stata effettuata l'inoculazione in cui la concentrazione iniziale di spore era maggiore. Passando ai rasanti, la crescita fungina sul rasante D (legante: calce idraulica pozzolanica; inerti: carbonatici) è stata abbastanza simile nella forma per tutti e tre i tipi muffa. Particolarmente interessante risulta essere la terza ripresa della serie, in cui è ben evidente la linea di confine tra la zona in cui è stato eseguito l'inoculo e quella non infestata. Per il rasante C (legante: calce idraulica pozzolanica; inerti: silicei) e quello E (legante: calce idraulica pozzolanica + additivi chimici; inerti: silicei) l'esperimento ha mostrato uno sviluppo più blando delle diverse specie, specialmente per *A. versicolor*.

Le tre riprese che si riferiscono alla pittura F (tempera, legante organico) differiscono dalle altre perché, al contrario di quelle precedenti, sono state riprese con un microscopio ottico normale. Questo perché lo sviluppo delle specie fungine sul supporto è stato ben visibile anche ad occhio nudo già dopo sole due settimane. Le prime due foto sono state scattate con un microscopio avente obiettivo 5x, mentre l'ultima con il 10x. La tempera è stato il supporto più "nutriente" per le specie fungine esaminate, in quanto si sono evidenziate le crescite maggiori, soprattutto per la *S. chartarum* e *P. chrysogenum*. Per la pittura G (acrilica, legante organico), risultati significativi sono stati ottenuti solo per la prima specie (*A. versicolor*) in cui viene evidenziato uno sviluppo a "ragnatela" in corrispondenza dell'area di inoculo.

Supporto	<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Stachybotrys chartarum</i>
Intonaco A			
Intonaco B			
Rasante C			
Rasante D			
Rasante E			
Pittura F			
Pittura G			

Tabella riassuntiva: crescita annua in mm di formazioni fungine

Tipologia di supporto parete		Parete con isolamento in intercapedine	Parete con isolamento a cappotto
Zona della parete posta sotto osservazione	Zona indisturbata	Non si osserva crescita di muffe su alcun tipo di supporto e finitura e indipendentemente dal clima.	Non si osserva crescita di muffe su alcun tipo di supporto e finitura e indipendentemente dal clima.
	Zona pilastro	Si osserva una consistente crescita annua in corrispondenza di significativi valori di trasmittanza, che interessano diverse tipologie di supporto e finitura.	Non si osserva alcuna crescita.
	Zona spalletta finestra	Si osserva una consistente crescita annua con significativi valori di trasmittanza, che interessano diverse tipologie di supporto e finitura.	Non si osserva alcuna crescita.

Milano, Roma e Ravenna con esposizioni nord (Ravenna è una città appartenente alla fascia del medio-alto Adriatico ed è caratterizzata da una umidità piuttosto elevata per tutto il corso dell'anno. Anche Milano è contraddistinta da umidità relative abbastanza elevate soprattutto nel periodo invernale, ma in contrapposizione a Ravenna fornisce temperature medie mensili più basse. Roma è una città dalle temperature più miti in cui l'umidità relativa media mensile non supera quasi mai il valore dell'80%, questo per ogni mese dell'anno). Le simulazioni condotte in prossimità della zona indisturbata della tipologia di parete con isolamento in intercapedine mostrano come è logico attendersi che non sussistono problemi di formazione di muffe, anche se i risultati mostrano un marcato peggioramento delle condizioni igrotermiche superficiali interne dovuto in particolar modo all'aumento del carico di umidità interno causato dall'adozione di infissi di classe 4. Le simulazioni condotte nella zona del pilastro e a ridosso della spalletta della finestra, per la medesima tipologia di tamponamento, hanno evidenziato come sussista un reale problema di formazione di muffe, soprattutto a seguito delle nuove condizioni ambientali che si stanno venendo a creare in seguito all'adozione dei disposti normativi per il risparmio energetico. In queste zone si creano le condizioni favorevoli per lo sviluppo di specie patogene. Infatti, dai test condotti considerando un più alto carico di umidità interno e spessori di isolamento più elevati allo scopo di riprodurre le situazioni derivanti dai nuovi obblighi è stato possibile notare come emerga un evidente peggioramento delle condizioni bio-igrotermiche rispetto ai casi di studio precedenti, in cui è stato considerato un più basso carico di umidità interna, in accordo con

le tipologie di infissi utilizzati fino a qualche tempo fa. Se si esamina ciò che può accadere in prossimità di un pilastro, si può osservare che l'area infestata può raggiungere i 120, 140 mm di diametro a partire dalla singola spora, rispettivamente per le città di Milano e Ravenna; mentre in prossimità degli infissi esterni questi valori possono aumentare fino a 240-270 mm/anno. Problemi molto più limitati interessano le abitazioni situate in zone geografiche con un clima più temperato come può essere per la città di Roma. Inoltre, occorre evidenziare che con questo tipo di soluzione tecnica, nelle zone come possono essere quelle in prossimità dei pilastri e delle spallette delle finestre, non si è tecnicamente in grado di raggiungere gli standard di trasmittanza imposti dalla norma per problemi di carattere costruttivo.

Queste aree diventano vulnerabili alla formazione di muffe che, attraverso i prodotti del loro metabolismo, vanno ad incrementare la componente organica dell'inquinamento indoor, causando gravi problemi alla salute delle persone. Si nota un migliore comportamento bio-igrotermico della tipologia di chiusura esterna a cappotto rispetto a quella esaminata in precedenza; soluzione, quest'ultima, che consente di non perdere continuità di isolamento anche nei punti critici dove maggiori possono essere le problematiche di rischio muffa come può essere per i pilastri e per le spallette delle finestre.

Anche per questa soluzione, le simulazioni condotte con un più elevato carico di umidità indicano un peggioramento delle condizioni igrotermiche della parete, ma non in grado di attivare la germinazione delle spore fungine che possono attecchire sulle pareti.