

Experimental assessment of moisture buffering “active” devices for indoor humidity control

Elisa Di Giuseppe^{a*}

^a Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura, Università Politecnica delle Marche, Via Brecce Bianche 12, Ancona, 60131, Italia

Highlights

We propose the design of a moisture buffering “active” device (MB-AD) to be integrated in a part of the building envelope. The MB-AD is able to measure the relative humidity indoors and control its loads by a low-energy-consumption fan system. The performance of the MB-AD has been dynamically tested to measure its Moisture Buffering Value (MBV). Experimental results showed that the MBV measured in the MB-AD increased until 29% (7.91 m²·%UR). Results predict good applications of the moisture buffering “active” device for low-power indoor humidity control in the future.

Abstract

A high thermal resistance and air tightness of the building envelope risk to create great internal moisture load with consequences for durability of materials and inhabitants’ comfort and health. The passive solution here proposed is a moisture buffering “active” device (MB-AD), to be integrated in the building envelope, which is able to measure the RH indoors and react by increasing the MB ability of a material forcing the passage of air inside it. The hygrothermal performance of the device has been experimentally tested and results showed that the Moisture Buffering Value measured in the “active” device increased until 29% more than the “passive” one.

Keywords

Moisture Buffering, Active Envelope, Humidity Control, Energy Saving, NZEB

1. INTRODUZIONE

La prestazione termica dell’involucro edilizio è fondamentale per la realizzazione di "edifici a energia quasi zero", come definiti dalla recente direttiva europea sull’efficienza energetica 2010/31/UE [1]. Di conseguenza, negli ultimi anni, molti paesi hanno reso più restrittivi i propri requisiti di tenuta all'aria e resistenza termica negli edifici, e il mercato delle costruzioni è sempre più orientato verso involucri leggeri ma “superisolati” e finestre dalla perfetta ermeticità. Tali soluzioni, in combinazione con insufficienti strategie di ventilazione degli edifici, rischiano di generare internamente elevati carichi di umidità [2]. Possibili conseguenze sono il deterioramento dei materiali, la proliferazione di microrganismi, il discomfort, i rischi per la salute [3,4].

Con impianti di ventilazione meccanica controllata è possibile dare una risposta concreta al problema, tuttavia questi possono avere costi notevoli, sia in fase di installazione che durante l’utilizzo. Inoltre, la loro installazione non è sempre possibile nelle vecchie costruzioni. Quindi, anche se con tali dotazioni impiantistiche è possibile fornire condizioni di comfort adeguate, negli Edifici a Energia Quasi Zero vi è comunque la necessità di sviluppare anche sistemi passivi per la regolazione del microclima interno.

Una strategia promettente è legata all'uso di materiali “moisture buffering” (MB). L'effetto "moisture buffering" è noto come la capacità da parte di materiali di smorzare i picchi di umidità relativa interna negli edifici, grazie alle loro capacità igroscopiche. I materiali MB sono infatti in grado di adsorbire e desorbire

* Corresponding author. Tel.: +39-071-2204246; e-mail: e.digiuseppe@univpm.it

l'umidità dall'aria adiacente e possono quindi essere utilizzati per controllare le sue variazioni senza costi energetici aggiuntivi [5].

2. STATO DELL'ARTE

Diversi autori sottolineano l'importanza del MB nella gestione dell'umidità interna, sostenuti da misure sperimentali [6,7] e simulazioni analitiche [5,8,9]. Essi hanno dimostrato che diversi materiali utilizzati nella costruzione di edifici [10–12] o in arredi [13] manifestano un comportamento MB. Tuttavia, poiché il fenomeno coinvolge solo gli strati più esterni dei materiali, è necessario che questi abbiano elevate prestazioni igroscopiche. Molte finiture interne comunemente utilizzate presentano invece problemi di isteresi [6].

Nella presente ricerca si propone la progettazione di un dispositivo MB "attivo" chiamato MB-AD, da integrare nell'involucro edilizio, in grado di misurare l'umidità relativa interna e contrastarne i picchi forzando il passaggio di aria in un materiale MB. Si riportano le valutazioni preliminari per la costruzione del dispositivo, e in particolare la progettazione del sistema di sensori di controllo e di attivazione e la valutazione sperimentale della prestazione del materiale MB "attivato", secondo il metodo di prova DTU [14], anche a confronto con campioni di materiale "passivi". Tali valutazioni sono necessarie prima della ottimizzazione del progetto del componente edilizio e la costruzione di un dispositivo a scala reale per test in condizioni ambientali.

3. METODOLOGIA

Il MB-AD è configurato come un pannello di controparete interna per interventi di nuova costruzione o ristrutturazione, che consiste di diversi strati funzionali (Figura 1). Il materiale MB è posizionato a contatto con una intercapedine dotata di un sistema di ventilazione per la depressurizzazione dell'aria al suo interno. Il ventilatore è collegato a sensori per la misura della umidità relativa (UR) mediante un circuito elettronico. Quando la UR rilevata supera un valore prefissato, il ventilatore viene attivato e l'intercapedine a contatto con il *buffer* viene depressurizzata, costringendo il materiale ad adsorbire acqua riducendo il vapore interno.

Il materiale MB scelto per le prove preliminari è la sepiolite, un silicato di magnesio con buone proprietà di adsorbimento del vapore ad elevate UR ambientali (al 100% di UR, 0,3-0,5 g/g) [15].

La ventola utilizzata per la depressurizzazione è un ventilatore assiale a bassa tensione, con portata di 67 m³/ora e bassa potenza assorbita (1.8 W) con conseguenti consumi energetici limitati. Il sistema di controllo e attivazione è stato realizzato attraverso il framework open source per la prototipazione elettronica "Arduino". Il sensore di umidità è Honeywell HIH-4030 (accuratezza +/- 3,5%). Un microcontrollore tramite transistore consente l'attivazione/disattivazione della ventola, per un dato valore di UR misurata nell'ambiente.

La relazione del progetto NORDTEST sviluppato dal Technical University of Denmark (DTU) [14] descrive una quantità standardizzata per caratterizzare praticamente la capacità MB dei materiali (il Moisture Buffering Value) e un protocollo di test, che esprime come questa debba essere testata sperimentalmente. Il Moisture Buffer Value pratico (o semplicemente MBV) indica la quantità di acqua che viene trasportata dentro o fuori

da un materiale attraverso una certa superficie durante un certo periodo di tempo quando il materiale è sottoposto a variazioni di umidità relativa dell'aria circostante. L'unità di misura è quindi $g/(m^2 \cdot \%UR)$.

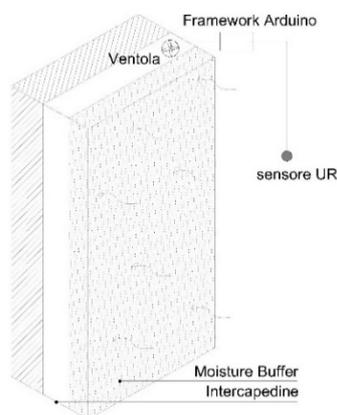


Figura 1. Schema operativo del dispositivo MB-AD.

Secondo il protocollo NORDTEST, il dispositivo MB-AD è stato testato dinamicamente in una camera climatica nel laboratorio dell'Università Politecnica delle Marche secondo il ciclo di esposizione stabilito (8 ore a 75% UR e 16 ore al 33%), che corrisponde alla tipica esposizione reale, ovvero una variazione giornaliera. L'obiettivo della prova è stato quello di determinare l'efficacia del materiale adsorbente scelto (la sepiolite) nel caso di uso "passivo" (il materiale tal quale) o "attivo" (forzando il passaggio di aria al suo interno). A questo proposito, sono stati costruiti 3 piccoli prototipi di ciascun tipo di dispositivo (attivo o passivo), posti in contenitori di plastica, in modo da lasciare una sola interfaccia libera tra il materiale e l'ambiente della camera climatica e quindi assicurare un flusso di umidità monodirezionale. Sul retro del contenitore del MB-AD è stata posizionata la ventola collegata al framework. I prototipi analizzati sono stati complessivamente:

- 3 prototipi di MB-AD, ciascuno con una differente soglia di UR% per l'attivazione:
 - Prototipo B1 (attivazione della ventola per UR maggiore del 33%)
 - Prototipo B2 (attivazione della ventola per UR maggiore del 60%)
 - Prototipo B3 (attivazione della ventola per UR maggiore del 70%)
- 3 prototipi di dispositivi "passivi" (senza depressurizzazione dell'intercapedine): A1, A2, A3.

Riguardo il prototipo B1, la soglia scelta per l'attivazione del ventilatore rappresenta il limite più basso dell'esposizione periodica previsto dal protocollo NORDTEST. In tal modo, il meccanismo di depressurizzazione dell'intercapedine era sempre in funzione (Figura 2).

La temperatura interna alla camera è stata mantenuta entro $23 \pm 0,5^\circ C$. Prima delle prove, i campioni sono stati condizionati alla temperatura di $23^\circ C$ e UR 50% per 120 ore. Ad intervalli regolari durante l'esposizione nella camera climatica, il peso dei campioni è stato misurato con una bilancia analitica (risoluzione 0,1 g). Sono state programmate 5 misurazioni durante la fase di adsorbimento e una al termine della fase di desorbimento. Durante ogni ciclo, la variazione di peso dei campioni (Δm) è stata determinata come media tra:

- L'incremento di peso durante la fase di adsorbimento (8 ore): $\Delta m_{\text{adsorb}} = m_{8h} - m_0$;
- La perdita di peso durante la fase di desorbimento (16 ore): $\Delta m_{\text{desorb}} = m_{24h} - m_{8h}$.

Il MBV è il valore di Δm (normalizzato rispetto alla superficie esposta e alla variazione di UR), calcolato sulla base della media di almeno 3 cicli stabili (il peso non deve variare di oltre il 5% da un giorno all'altro).



Figura 2. A sinistra: sezione trasversale schematica del dispositivo MB "passivo"; a destra: connessione tra i sensori UR, il framework "Arduino", e i 3 MB-AD.

4. RISULTATI

La Figura 4 mostra le variazioni di peso della sepiolite misurate nei dispositivi passivi e il loro valore medio. La Figura 5 mostra le variazioni di peso della sepiolite misurate nei dispositivi attivi, anche rispetto al valore medio dei dispositivi passivi. Δm , in tutti i dispositivi, mostra ovviamente un incremento durante la fase di adsorbimento e una diminuzione durante quella di desorbimento. La determinazione della quantità di umidità che rimane nel campione al termine della fase di desorbimento permette di valutare la presenza di fenomeni isteretici. In questo senso la sepiolite è in grado di scaricare tutta la quantità di acqua assorbita e quindi di mantenere le sue caratteristiche di adsorbimento, senza manifestare fenomeni di isteresi.

I dispositivi attivi B2 e B3, con la ventola in funzione durante le sole fasi di adsorbimento, hanno accumulato più acqua rispetto alla quantità media raccolta dai dispositivi passivi. Essi rilasciano quindi l'acqua naturalmente durante la fase di desorbimento, come nel caso dei campioni passivi. Il dispositivo attivo B1, con la ventola in esecuzione durante tutte le condizioni di esposizione, ha mostrato un comportamento opposto, cioè una ridotta capacità di accumulo da parte del materiale. La continua attivazione del ventilatore influenza le prestazioni igrometriche del materiale durante l'intero periodo di misurazione, come se il materiale funzionasse secondo una differente isoterma di assorbimento, poiché allo stesso livello di UR è in grado di trattenere e rilasciare una quantità inferiore di acqua. Pertanto, si decide di escludere un funzionamento "continuo" del dispositivo attivo applicato nel pannello parete. L'attivazione del ventilatore nel MB-AD deve essere limitata alle fasi di elevati carichi di UR interna rilevati dallo specifico sensore. In ogni caso, anche se la ventola lavorasse 8 ore al giorno, il conseguente consumo di energia annuale sarebbe di circa 5 kWh.

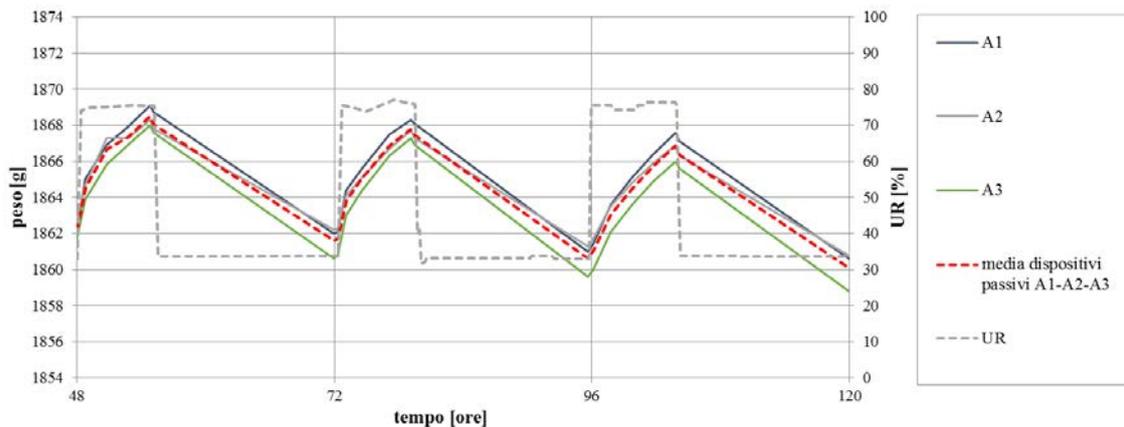


Figura. 4. Cicli di assorbimento e rilascio di umidità per i tre dispositivi passivi A1, A2, A3 e loro valore medio.

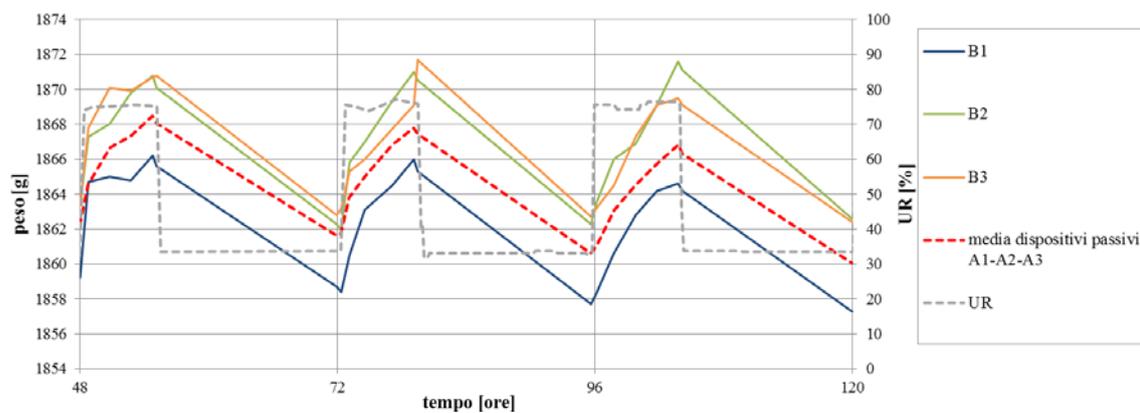


Figura. 5. Cicli di assorbimento e rilascio di umidità per i tre dispositivi attivi B1, B2, B3, anche a confronto con il valore medio dei dispositivi passivi.

La Fig. 6 mostra il valore MBV medio per i dispositivi attivi e passivi testati. La sepiolite nei dispositivi passivi mostra già valori elevati di MBV ($6.12 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{UR})$). Nei dispositivi attivi B2 e B3 questo aumenta di circa il 29% e il 22% rispettivamente (fino a $7.91 \text{ m}^2 \cdot \% \text{UR}$ per B2).

5. CONCLUSIONI

Considerando la classificazione dei materiali MB nell'ambito del progetto NORDTEST, la sepiolite può essere considerata come un materiale di livello "eccellente" ($\text{MBV} > 2 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{UR})$), con elevata capacità di adsorbimento e senza problemi di isteresi. Il dispositivo "attivo" MB-AD è in grado di ottimizzare ulteriormente il funzionamento del materiale, aumentando la sua capacità di adsorbimento fino al 29%, quando i ventilatori sono in funzione ad elevati valori di UR. La possibilità di utilizzare il dispositivo MB-AD integrato nell'involucro dell'edificio, per smorzare i carichi di UR interna, potrebbe effettivamente consentire di ridurre l'area di esposizione che sarebbe necessaria a materiali MB tradizionali per ottenere lo stesso risultato.

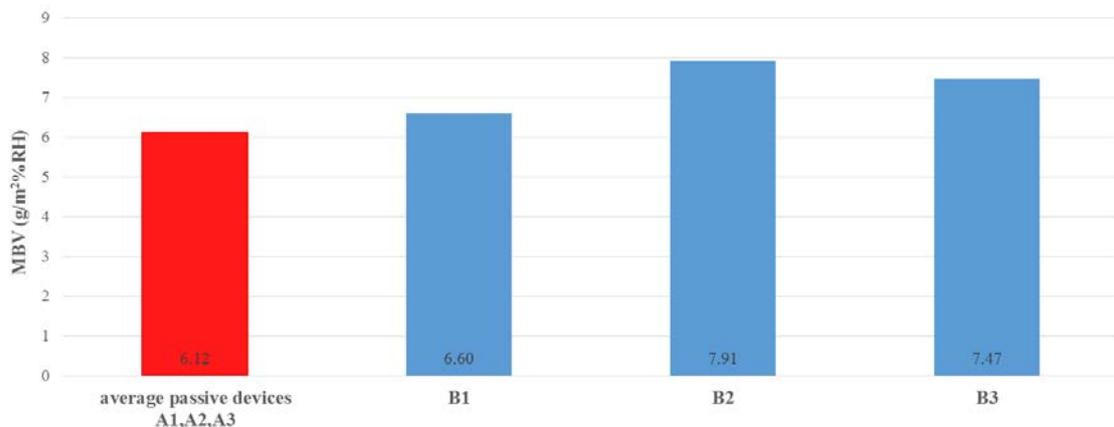


Figura. 6. MBV [g/(m2-% UR)] per i diversi dispositivi, attivi e passivi.

Ulteriori ricerche sono necessarie per migliorare la progettazione e il funzionamento del MB-AD. In particolare, sono necessari approfondimenti relativi alla progettazione dei componenti del pannello di contro parete (in particolare i sistemi di contenimento del materiale moisture buffering), all'ottimizzazione delle dimensioni del materiale MB in relazione alle esigenze di adsorbimento in diverse tipologie e dimensioni di ambienti interni, alla definizione dei metodi di assemblaggio, installazione e successiva manutenzione/sostituzione dei componenti del pannello di contro parete.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
- [2] Daquisto D, Crandell J, Lyons J. Building Moisture and Durability Past, Present and Future Work. US Department of Housing and Urban Development, Washington, D.C., 2004
- [3] Haleem Khan AA, Mohan Karuppaiyl S. Fungal pollution of indoor environments and its management, Saudi J Biol Sci. 19 (2012) 405–26.
- [4] Di Giuseppe E. Nearly Zero Energy Buildings and Proliferation of Microorganisms : A Current Issue for Highly Insulated and Airtight Building Envelopes. Springer International Publishing, 2013.
- [5] Janssen H, Roels S. Qualitative and quantitative assessment of interior moisture buffering by enclosures, Energy Build 41 (2009) 382–94.
- [6] Carolini S, D'Orazio M, Di Perna C, Stazi A. Moisture buffering capacity of highly absorbing materials. Energy Build 41 (2009) 164–8.
- [7] Steeman M, Van Belleghem M, De Paep M, Janssens A. Experimental validation and sensitivity analysis of a coupled BES–HAM model. Build Environ, 45 (2010) 2202–17.
- [8] Steeman HJ, Janssens a., Carmeliet J, De Paep M. Modelling indoor air and hygrothermal wall interaction in building simulation: Comparison between CFD and a well-mixed zonal model. Build Environ, 44 (2009) 572–83.
- [9] Steeman M, Goethals K. On modelling moisture buffering when evaluating humidity controlled hvac systems. International IBPSA Conference Glasgow, Scotland July 27-30 (2009) 819–26.
- [10] Hameury S. Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study, Build Environ. 40 (2005) 1400–12.
- [11] Kuenzel H, Holm A, Sedlbauer K, Antretter F, Ellinger M. Moisture buffering effects of interior linings made from wood or wood based products. Investigations commissioned by Wood Focus Oy and the German Federal Ministry of Economics and Labour, Stuttgart, Germany, 2004.
- [12] Osanyintola OF, Talukdar P, Simonson CJ. Effect of initial conditions, boundary conditions and thickness on the moisture buffering capacity of spruce plywood, Energy Build. 38 (2006) 1283–92.
- [13] Svennberg K, Hedegaard L, Rode C. Moisture buffer performance of a fully furnished room. Proceedings of the Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings IX International Conference, Clearwater Beach, Florida, 2004.
- [14] Rode C. Moisture buffering of building materials. Department of Civil Engineering Technical University of Denmark, 2005
- [15] Gonzalez J. Sepiolite-based adsorbents as humidity controller, Appl Clay Sci (2001) 111–8.